

Aus dem Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. L. Horbach

ZUR STATISTISCHEN METHODIK DER MULTIVARIATEN VERLAUFSANALYSE UNTER STRESSBEDINGUNGEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Susanne Hiemeyer
geb. Fischer
aus Nürnberg

Aus dem Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. L. Horbach

ZUR STATISTISCHEN METHODIK DER MULTIVARIATEN VERLAUFSANALYSE UNTER STRESSBEDINGUNGEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Susanne Hiemeyer
geb. Fischer
aus Nürnberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät

der Universität Erlangen - Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten

Referent: Prof. Dr. L. Horbach

Tag der mündlichen Prüfung: 07.07.1980

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	2
2. Zur vorliegenden Stichprobe und der Gewinnung der Meßwerte	3
3. Methodik und Ergebnisse	4
3.1. Übertragen der Daten auf Magnetplatte und Auscheiden der Fälle mit unvollständigen Datensätzen	5
3.2. Univariate Untersuchungen	6
3.2.1. Histogramme	6
3.2.2. Verlaufsparemeter	8
3.3. Datenreduktion	10
3.3.1. Transformation	10
3.3.2. Bildung eines Ausgangs- und eines Reaktionswertes	10
3.4. Multivariate Untersuchungen	14
3.4.1. 1. Plotdiagramme	14
2. Regressionsgerade	14
3. Korrelationskoeffizient	15
3.4.2. Eigene Untersuchungen	16
Partieller Korrelationskoeffizient	16
Statistische Testverfahren	23
3.4.3. Ergebnisse	25
1. Korrelation zwischen Ausgangswerten und Reaktionsflächen	25
2. Korrelation zum Alter	27
3. Korrelation zwischen den einzelnen Variablen	28
4. Diskussion	35
4.1. Zur Transformation des Elektromyointegrals	35
4.2. Zum Korrelationskoeffizienten	36
4.3. Kopfrechnen als Stressor	38
4.4. Zu den Ergebnissen	39
4.5. Problem der multiplen Tests	40
5. Zusammenfassung	41
6. Literaturverzeichnis	43
7. Anhang	45

1. Einleitung

Im Jahr 1969 wurde von der deutschen Forschungsgemeinschaft eine interdisziplinäre Studie durchgeführt mit dem Ziel, die Auswirkungen des Fluglärms auf die Anwohner eines Verkehrsflughafens zu untersuchen. Im Lauf der Studie wurden bei etwa 400 Personen medizinische Untersuchungen und vegetative Messungen vorgenommen. Dabei wurden unter anderem Elektromyointegral, Blutdruck, Pulsfrequenz und Atemfrequenz in Ruhe und unter Belastung durch Kopfrechnen bestimmt.

Die gewonnenen Daten wurden auf elektronischen Datenträgern gespeichert, die statistische Auswertung des umfangreichen Datenmaterials wurde im Hinblick auf die gegebene Fragestellung von Horbach (9) durchgeführt. Die Datensätze liegen zum Teil im Institut für medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Erlangen vor, das Zahlenmaterial steht für die Prüfung weiterer Fragestellungen zur Verfügung.

In zwei Arbeiten wurden bereits das Elektromyointegral und der Blutdruck ausgewertet, dabei wurden vor allem die Abhängigkeit des Anstiegs während der Belastung vom Ausgangswert, die Altersabhängigkeit, Unterschiede zwischen Männern und Frauen und zwischen Frauen vor und nach der Menopause untersucht (7,17).

Aufgabe dieser Arbeit ist es, mit Hilfe statistischer Methoden mögliche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Variablen (Elektromyointegral, systolischer und diastolischer Blutdruck, Pulsfrequenz und Atemfrequenz) herauszuarbeiten. Dabei soll besonders auf die Veränderung der Werte unter Belastung eingegangen werden.

2. Zur vorliegenden Stichprobe und der Gewinnung der Meßwerte

Im Rahmen der Fluglärmstudie wurde um den Flughafen München Riem ein Gebiet mit Lärmbelästigung durch den Flugverkehr festgelegt. Innerhalb dieser Zone wurden 32 Cluster mit verschieden starker Belärmung zufällig ausgewählt, innerhalb der einzelnen Cluster wurden wiederum zufällig je 30 Personen ausgewählt. An 392 Probanden aus diesem Kollektiv wurden die medizinischen Untersuchungen und vegetativen Messungen durchgeführt. Die Stichprobe entspricht demografisch weitgehend der Bevölkerungsstruktur Münchens (etwa hinsichtlich Geschlechtsproportion, Alter, Berufsgruppe, Religionszugehörigkeit, Parteineigung) und kann daher auch als repräsentativ für die gesamte Großstadtbevölkerung der Bundesrepublik angesehen werden.

Die Meßwerte wurden unter standardisierten Bedingungen gewonnen. Die Muskelaktionspotentiale wurden vom Muskulus extensor digitorum communis des rechten Unterarms mit Hilfe von Oberflächenelektroden abgeleitet und integriert (Elektromyointegrator von v.Eiff und Meyer-Eppler, 5). Der Blutdruck wurde nach der Methode von Riva-Rocci am linken Arm gemessen, die Pulsfrequenz wurde mittels des fortlaufend registrierten EKGs bestimmt. Zur Messung der Atemfrequenz wurde ein Thermistor in den Atemweg unterhalb der Nase des Probanden angebracht und ein Atemfrequenzmesser angeschlossen. Sämtliche Werte wurden zunächst während fünf Minuten unter Ruhebedingungen in Abständen von einer Minute gemessen. Anschließend wurde den Probanden auf einer Leinwand ein Diapositiv mit mehreren Reihen einfacher Zahlen projiziert, die fortlaufend zu addieren waren; während der Belastung durch Kopfrechnen wurden die Messungen ebenfalls fünf Minuten lang jede Minute durchgeführt.

3. Methodik und Ergebnisse

Vor der statistischen Auswertung waren einige vorbereitende Arbeiten notwendig. Die Daten wurden von den Lochkarten auf eine Magnetplatte übertragen, Fälle mit unvollständigen Datensätzen wurden ausgeschlossen. Mit Hilfe einiger univariater Untersuchungen wurde vor allem die Normalverteilung der Daten überprüft; anschließend wurden notwendige Transformationen und eine Reduktion der Daten auf je einen Ausgangswert und einen Reaktionswert durchgeführt. Dann erst konnten die multivariaten Untersuchungen gemacht werden.

Sämtliche Rechnungen wurden an dem Rechner TR 440 des Rechenzentrums der Universität Erlangen durchgeführt. Dabei wurden größtenteils die "Statsys"-Programme (Programm-bibliothek des Instituts für medizinische Statistik) verwendet (16).

3.1. Übertragen der Daten auf Magnetplatte und Ausscheiden der Fälle mit unvollständigen Datensätzen

Zunächst wurden die Daten von den Lochkarten auf eine Magnetplatte übertragen. Dabei wurden von sämtlichen Probanden die laufende Nummer, Geschlecht und Alter, Elektromyointegral, systolischer und diastolischer Blutdruck, Pulsfrequenz und Atemfrequenz gespeichert, und zwar von jeder Variablen fünf Ruhewerte und fünf Belastungswerte.

Anschließend wurde festgestellt, bei welchen Probanden einzelne Meßwerte nicht bestimmt worden waren und daher auf dem file den Wert Null annahmen. Das traf bei zwölf Fällen zu, das heißt bei zwölf Probanden fehlten ein oder mehrere Meßwerte (meist Elektromyointegral oder Atemfrequenz).

Diese Fälle wurden vollständig vom file gestrichen und bei den weiteren Berechnungen nicht mehr berücksichtigt.

Es ist nicht zu erwarten, daß durch dieses Vorgehen wesentliche Selektionseffekte entstanden sind. Einerseits wurden nur verhältnismäßig wenig Fälle gestrichen (12 von 392), andererseits ist die Korrelation zwischen den Variablen das Hauptthema meiner Arbeit, und der Korrelationskoeffizient wird durch das Weglassen einiger Fälle kaum systematisch beeinflusst.

Es verblieben 380 Probanden in der Untersuchung, 185 Männer und 195 Frauen.

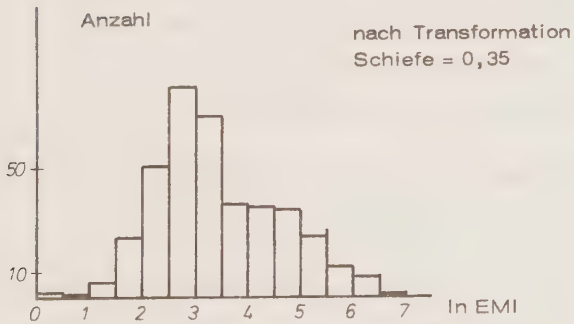
3.2. Univariate Untersuchungen

3.2.1. Histogramme

Um einen Überblick über die Verteilung der einzelnen Werte zu erhalten, wurde mit Hilfe eines Statsys-Programms eine Häufigkeitsverteilung der Daten für jeden Meßzeitpunkt erstellt. Die Daten wurden in jeweils 15 beziehungsweise 30 rechts offene Klassen eingeteilt; die Klassenbreite betrug für das Elektromyointegral 20, für den systolischen Blutdruck 10 mmHg, für den diastolischen Blutdruck 5 mmHg, für die Pulsfrequenz 5/min und für die Atemfrequenz 2/min. Nach diesen Häufigkeitsverteilungen wurden für alle Variablen zu sämtlichen Meßzeitpunkten Histogramme gezeichnet. Auf die Wiedergabe dieser Histogramme kann verzichtet werden, die jeweils aufeinanderfolgenden Histogramme einer Variablen unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Die Verteilung entspricht etwa der der reduzierten Werte.

Die Verteilung von Blutdruck, Pulsfrequenz und Atemfrequenz ist annähernd symmetrisch. Das Elektromyointegral ist sicher nicht normalverteilt, oft fallen mehr als 40% sämtlicher Werte in die erste Klasse, während die übrigen 29 Klassen sehr schwach besetzt sind. Siehe hierzu Abbildung 1.

Abb. 1 Verteilung des letzten Ruhewertes des Elektromyointegrals vor und nach Transformation
 $n = 380$



3.2.2. Verlaufsparemeter

Anschließend wurde mit Statsys-Programm P020 eine einfache Datenbeschreibung der Meßwerte erstellt. Dieses Programm berechnet den arithmetischen Mittelwert, die Standardabweichung und die Schiefe, außerdem werden minimaler und maximaler Wert und die Konfidenzbereiche der Mittelwerte für $p=0,95$ und $p=0,99$ ausgedruckt.

Die Schiefe ist ein Maß für die Symmetrie einer Verteilung. Sie liefert Anhaltspunkte, inwieweit die Verteilung der Variablen von einer Normalverteilung abweicht. Die Konfidenzbereiche geben an, mit welcher Sicherheit von den Parametern der vorliegenden Stichprobe auf die der Grundgesamtheit geschlossen werden darf. Für den Konfidenzbereich des Mittelwertes für $p=0,99$ gilt also, daß der wahre Mittelwert der Grundgesamtheit mit 99% Wahrscheinlichkeit innerhalb dieses Bereiches liegt. Voraussetzung ist hierbei allerdings, daß die Stichprobe repräsentativ für die Grundgesamtheit bezüglich der betrachteten Variablen ist; dies kann bei unserer Untersuchung angenommen werden.

Die Mittelwerte der Variablen sind mit den zugehörigen Konfidenzbereichen, auch getrennt für Männer und Frauen, in Abbildung 9 bis 11 (im Anhang) wiedergegeben.

Das Elektromyointegral fällt während der Ruhephase leicht ab, um während der Belastung deutlich anzusteigen. Der systolische und diastolische Blutdruck steigt ebenfalls unter Belastung deutlich an, dabei liegen die Mittelwerte bei Männern um 8 mmHg beziehungsweise 5 mmHg höher als bei Frauen.

Auch die Pulsfrequenz steigt während der Belastung an, während die Atemfrequenz bei Männern ansteigt, bei Frauen dagegen leicht abfällt.

Alle Werte fallen nach dem anfänglichen Anstieg während der Belastung wieder leicht ab, ohne allerdings auf den Ausgangswert zurückzukehren. Das Elektromyointegral erreicht erst nach vierminütiger Belastung sein Maximum.

Die Schiefe liegt beim systolischen Blutdruck zwischen 1,0 und 1,33, beim diastolischen Blutdruck zwischen 0,33 und 0,57, bei der Pulsfrequenz zwischen 0,31 und 0,51 und bei der Atemfrequenz zwischen 0,14 und 0,47. Bei all diesen Variablen kann man also annehmen, daß sie ausreichend normalverteilt sind.

Beim Elektromyointegral liegt die Schiefe bei den Ruhewerten zwischen 3,23 und 3,71, bei den Werten unter Belastung zwischen 1,29 und 1,54. Wie bereits aufgrund der Histogramme vermutet, ist für das Elektromyointegral eine Normalverteilung sicher nicht gegeben.

3.3. Datenreduktion

3.3.1. Transformation

Um auch für das Elektromyointegral eine Normalverteilung herzustellen, die für die meisten der nachfolgenden Untersuchungen Voraussetzung ist, wurden sämtliche Werte des Elektromyointegrals (EMI) in ihren natürlichen Logarithmus transformiert: $EMI \rightarrow \ln EMI$. Wie Abbildung 1 zeigt, wird dadurch eine recht gute Annäherung an die Normalverteilung erreicht. Die Schiefe der transformierten Werte liegt für die Ruhewerte zwischen 0,18 und 0,40, für die Werte unter Belastung zwischen -0,73 und -0,49.

Alle Berechnungen wurden mit den transformierten Werten des Elektromyointegrals durchgeführt.

3.3.2. Bildung eines Ausgangswertes und eines Reaktionswertes

Um überschaubare Werte für die folgenden Untersuchungen zu erhalten, wurde eine Reduktion der Daten angestrebt. Wir hielten es für sinnvoll, nur jeweils einen Ausgangswert und einen Reaktionswert zu verwenden.

Als Ausgangswert wird das arithmetische Mittel der beiden letzten Meßwerte in Ruhe gewählt:

$$A = \frac{x_4 + x_5}{2}$$

Dadurch werden die anfänglichen Schwankungen der Werte nicht berücksichtigt, und Meßfehler fallen nicht zu stark ins Gewicht.

Um die Reaktion vollständig zu erfassen, wird als Reaktionswert der durchschnittliche Anstieg der Variablen, bezogen auf den Ausgangswert und auf eine Minute, definiert:

$$R = \frac{1}{5} \sum_{i=6}^{10} x_i - A$$

Dieser Wert kann als Fläche zwischen der Kurve der Meßwerte während der Belastung und dem Ausgangswert als Grundlinie interpretiert werden. In Abbildung 2 ist die Fläche durch Rechtecke mit äquidistanter Basis dargestellt, die Höhe entspricht der Differenz zwischen dem jeweiligen Meßwert und dem Ausgangswert. Ein Fünftel der schraffierten Fläche entspricht unserer Reaktionsfläche (wir haben unsere Reaktionsfläche auf eine Minute bezogen, um ein anschaulicheres Maß zu erhalten, und daher die Gesamtfläche durch 5 dividiert).

Es wurde ein neuer file angelegt, auf dem die Ausgangswerte und Reaktionsflächen gespeichert wurden. An diesen Daten wurden noch einmal die univariaten Untersuchungen durchgeführt, auch getrennt für Männer und Frauen. Die Ergebnisse der Datenbeschreibung finden sich in Tabelle 1, die Histogramme sind in Abbildung 12 bis 16 (im Anhang) wiedergegeben.

Abb. 2

Darstellung der Reaktionsfläche der Pulsfrequenz eines Probanden.

Der Ausgangswert ist der arithmetische Mittelwert der beiden letzten Meßwerte in Ruhe, die schraffierte Fläche entspricht der gesamten Reaktionsfläche, die in unserer Untersuchung noch durch 5 dividiert wurde.

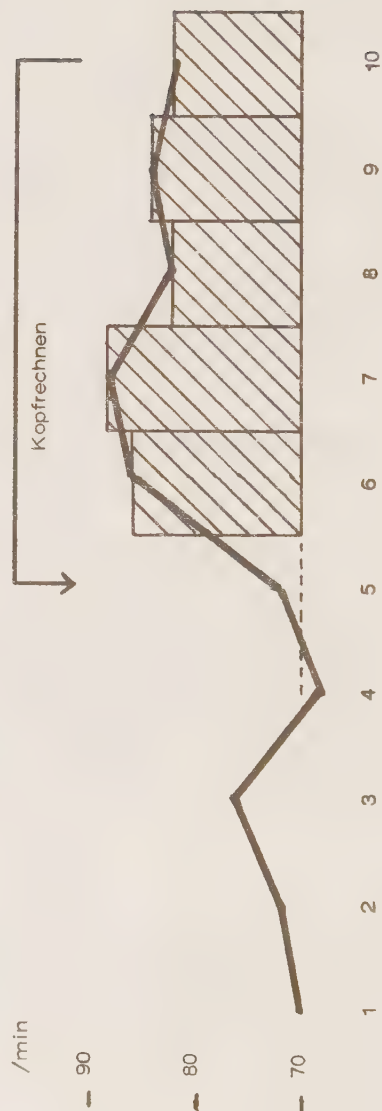


Tabelle 1 Mittelwert und Standardabweichung der Ausgangswerte und Reaktionsflächen

		Gesamt (n = 380)		Männer (n = 185)		Frauen (n = 195)	
		Mittelwert	Standard- abweichung	Mittelwert	Standard- abweichung	Mittelwert	Standard- abweichung
Alter		38,27	11,25	38,34	11,59	38,22	10,96
In EMI	A	3,42	1,12	3,26	1,16	3,58	1,05
	R	1,55	1,19	1,77	1,28	1,35	1,07
RR syst	A	126,09	15,81	130,30	13,77	122,09	16,60
	R	15,47	9,92	16,32	10,59	14,66	9,91
RR diast	A	81,58	10,22	84,18	9,74	79,11	10,09
	R	8,87	4,69	9,55	5,07	8,23	4,23
Pulsfrequenz	A	69,71	10,23	68,46	10,70	70,89	9,65
	R	11,29	8,13	10,67	8,49	11,87	7,75
Atemfrequenz	A	15,71	3,10	15,38	3,14	16,01	3,03
	R	0,19	3,23	0,84	3,21	-0,42	3,12

3.4. Multivariate Untersuchungen

3.4.1. 1. Plotdiagramme

Vermutet man eine Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen eines Individuums, so erscheint es sinnvoll, die Daten zunächst in Form eines sogenannten Plotdiagramms zu veranschaulichen. Hierbei entsprechen die zwei Merkmale der Abszisse beziehungsweise Ordinate eines Koordinatensystems; jedem Individuum kann nun ein fester Punkt zugeordnet werden. Man erhält so eine Grundvorstellung über Form und Streuung der Punktwolke.

Aufgrund der Streuung biologischer Merkmale wird man praktisch nie einen festen funktionalen Zusammenhang wie zum Beispiel zwischen Radius und Umfang eines Kreises finden. Die mehr oder weniger lose Verkettung der Merkmale wird als stochastischer Zusammenhang bezeichnet.

2. Regressionsgerade

Die Regressionsanalyse ist strenggenommen keine "multivariate" Untersuchung, da eine Variable (x) als determiniert und nur die zweite (y) als Zufallsvariable angesehen wird. Trotzdem geht man in der Praxis häufig so vor, daß man auch dann, wenn zwei voneinander abhängige Zufallsvariable vorliegen, die eine Variable als "unabhängig", also als determiniert, festlegt und eine Regressionsanalyse durchführt.

Um zu einer formalen Beziehung zwischen x und y zu kommen, versucht man festzustellen, wie für einen festen Wert von x der mittlere y -Wert aussieht. So erhält man die Regressionskurve. Allerdings bräuchte man, um diese Kurve allgemein finden zu können, zu viele Beobachtungen, daher

nimmt man als einfachstes Modell meist eine lineare Abhängigkeit der beiden Variablen an. Die Regressionskurve hat dann die Gleichung einer Geraden: $y = \alpha + \beta x$

Dabei werden die Parameter α und β aus der vorliegenden Stichprobe mit den Merkmalen $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$ nach $y = a + b x$ geschätzt. Man benutzt hierzu die Methode der kleinsten Abstandsquadrate, das heißt man läßt die Summe der quadrierten vertikalen Abstände von y_i auf die Gerade $y = a + b x$ möglichst klein werden. Durch Differenzieren erhält man:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{und} \quad a = \bar{y} - b \bar{x}$$

Es gibt zwei Regressionsgeraden, von y auf x und von x auf y . Sie schneiden sich im Schwerpunkt $(\bar{x}, \bar{y})$ und bilden einen Winkel, der umso kleiner ist, je enger der stochastische lineare Zusammenhang der beiden Variablen ist.

3. Korrelationskoeffizient

Das wichtigste Maß der Abhängigkeit zweier Merkmale ist der Korrelationskoeffizient ρ . Er ist ein Maß dafür, ob und wie weit zwischen zwei Variablen ein statistischer Zusammenhang besteht. Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. $|\rho| = 1$ bedeutet einen funktionalen linearen Zusammenhang der beiden Variablen, die Wertepaare liegen auf einer Geraden. $\rho = 0$ bedeutet lineare Unabhängigkeit. Hat ρ einen positiven Wert, so steigt die eine Variable im Durchschnitt an, wenn die andere größer wird, für $\rho < 0$ wird y bei steigendem x kleiner. Der Korrelationskoeffizient wird geschätzt nach

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

3.4.2. Eigene Untersuchungen

Bei meiner Untersuchung wurde folgendermaßen vorgegangen: Zuerst wurden für je zwei Variable paarweise Plotdiagramme gezeichnet (8). Als Beispiel seien drei Diagramme aufgeführt (Abbildung 3 bis 5). Bei den ersten zwei Diagrammen läßt sich vermuten, daß die Merkmale voneinander abhängig sind. Der diastolische Blutdruck wird im Mittel höher bei höherem systolischen Blutdruck, die Reaktionsfläche des Elektromyointegrals wird kleiner bei größerem Ausgangswert. Zwischen Alter und Atemfrequenz läßt sich keine Abhängigkeit erkennen.

Als nächstes wurden mit Hilfe des Statsys - Programms P030 Regressions- und Korrelationskoeffizienten berechnet, und zwar paarweise für sämtliche 11 Variablen (Alter, 5 Ruhewerte, 5 Reaktionsflächen). Diese Berechnung wurde auch getrennt für Männer und Frauen durchgeführt. Die Korrelationsmatrizen sind in Tabelle 2 bis 4 zusammengestellt.

Für einige Wertepaare wurden auch partielle Korrelationskoeffizienten berechnet. Dies gibt die Möglichkeit, den Einfluß einer dritten Variablen "auszublenden", das heißt denjenigen Korrelationskoeffizient zu berechnen, der entstünde, wenn diese dritte Variable konstant wäre.

Die Formel zur Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten lautet:

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} r_{yz}}{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}$$

dabei sind x und y die zu untersuchenden Variablen, z die Variable, deren Einfluß ausgeschaltet werden soll, $r_{xy,z}$ der partielle Korrelationskoeffizient und r_{xy} , r_{xz} und r_{yz} die paarweise berechneten Korrelationskoeffizienten.

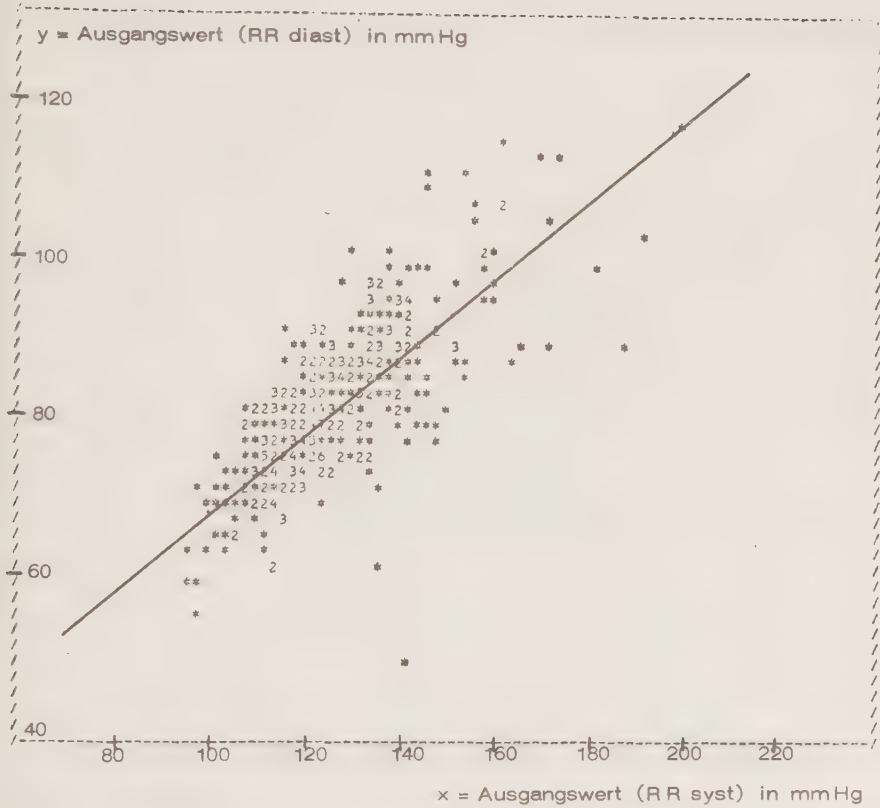


Abb. 3 Zusammenhang zwischen den Ausgangswerten von systolischem und diastolischem Blutdruck
n = 380

$r = 0,7446$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 20,87 + 0,48x$

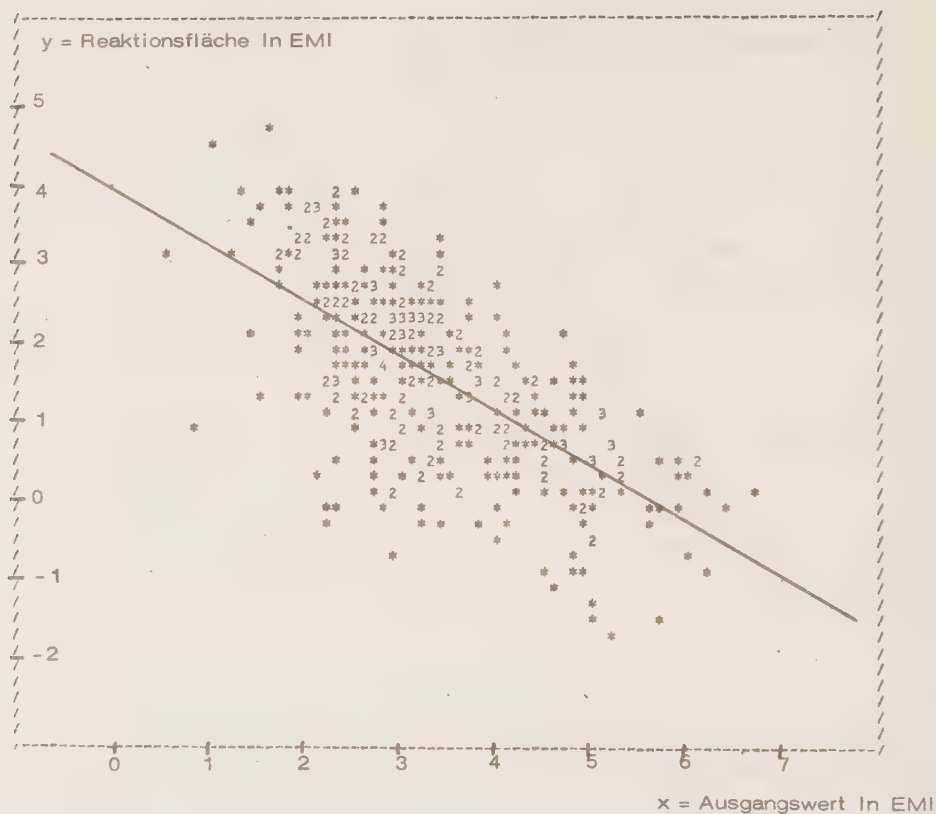


Abb. 4 Zusammenhang zwischen Ausgangswert und Reaktionsfläche
des transformierten Elektromyointegrals

$n = 380$

$r = -0,6677$ (signifikant $< 0, \alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 3,99 - 0,71x$

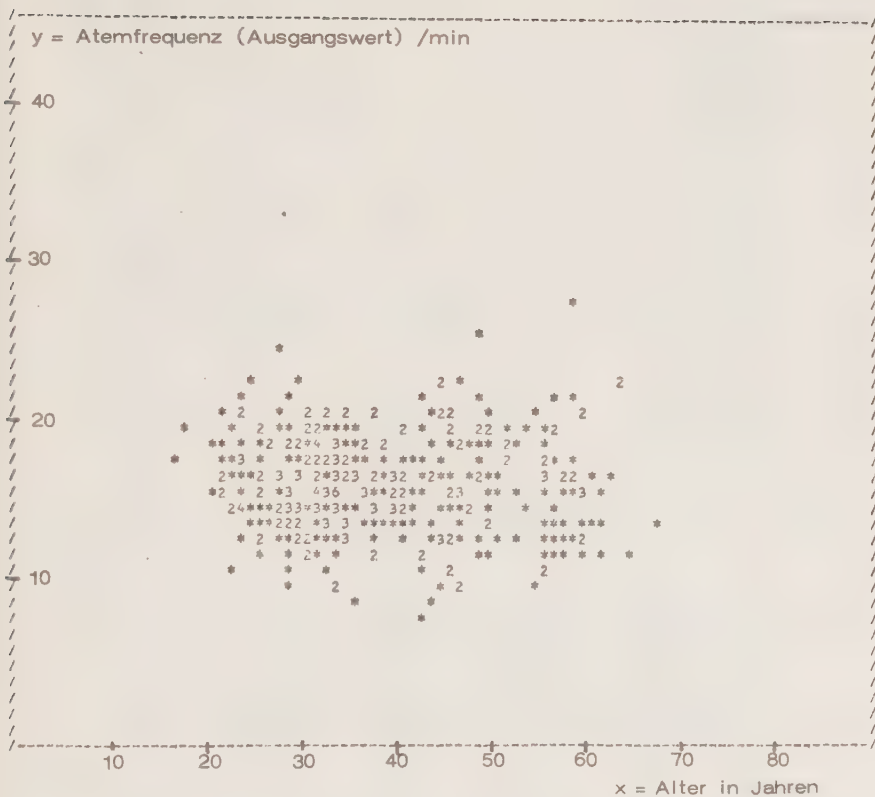


Abb. 5 Zusammenhang zwischen Alter und dem Ausgangswert der Atemfrequenz

$n = 380$

$r = -0,0239$ (nicht auffällig von 0 verschieden, $\alpha > 0,05$)

Zum besseren Verständnis seien hier einige Betrachtungen über statistische Tests eingefügt.

Man geht bei jedem statistischen Test folgendermaßen vor: Zunächst wird eine Nullhypothese H_0 und eine Alternativhypothese H_1 aufgestellt. Die Nullhypothese wird genau dann verworfen, wenn ein Testergebnis eintritt, das bei Gültigkeit von H_0 unwahrscheinlich ist und eher für H_1 spricht. In unserem Fall lautet H_0 : Der Korrelationskoeffizient in der Grundgesamtheit unterscheidet sich nicht von 0. Da unsere Stichprobe "nur" aus 380 Probanden besteht, wird sich, auch wenn H_0 gilt, immer eine zufällige Abweichung des Korrelationskoeffizienten von 0 ergeben - wahrscheinlich eine kleine Abweichung, unwahrscheinlich (aber doch möglich!) eine größere. Man muß nun festlegen, wie weit man eine nur zufällige Abweichung gelten lassen will, und ab welchem Punkt H_0 verworfen und die Alternativhypothese H_1 (r ist nicht gleich 0, es besteht wirklich eine Korrelation) angenommen wird. Dies geschieht durch die Wahl des Signifikanzniveaus α . Beim Prüfen von Hypothesen sind zwei Fehlentscheidungen möglich:

1. Das unberechtigte Ablehnen der Nullhypothese
(Fehler 1.Art)
2. Das unberechtigte Beibehalten der Nullhypothese
(Fehler 2.Art)

Die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler 1. Art zu begehen, legt man durch das Signifikanzniveau fest. Bei $\alpha = 0,05$ wird man in einem von 20 Fällen die Nullhypothese unberechtigt ablehnen, also eine Korrelation feststellen, die in Wirklichkeit nicht existiert. Je kleiner das Risiko für einen Fehler 1.Art gewählt wird, desto größer wird automatisch das Risiko für einen Fehler 2.Art - eine Korrelation zu übersehen.

Die meisten statistischen Tests werden mit Hilfe einer Prüfgröße durchgeführt. Nach einer bestimmten Vorschrift wird aus den Daten der vorliegenden Stichprobe eine Zahl errechnet; der Wert dieser Zahl wird mit einer Prüfverteilung verglichen. Liegt der Wert innerhalb der 95%- oder 99% - Grenze der Prüfverteilung, so nimmt man einen Einfluß des Zufalls an und behält die Nullhypothese bei, liegt der Wert außerhalb, so wird die Alternativhypothese angenommen. Man geht dann davon aus, daß ein solches Ereignis, das nur in 5% beziehungsweise 1% aller Fälle zufällig auftritt, unwahrscheinlich ist.

Beim Korrelationskoeffizient erfolgt die Prüfung der Nullhypothese $\rho = 0$ anhand einer t-Verteilung mit $n-2$ Freiheitsgraden:

$$\hat{t} = |r| \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

Für $\hat{t} \geq t_{n-2, \alpha}$ wird die Nullhypothese abgelehnt, dabei ist $t_{n-2, \alpha}$ der Grenzwert der t-Verteilung mit $n-2$ Freiheitsgraden für das Signifikanzniveau α .

Einfacher ist es, die Signifikanzschranken für r direkt aus einer Tabelle abzulesen (14, S.330).

Eine andere Möglichkeit, die Nullhypothese zu prüfen, ist die Berechnung der Konfidenzbereiche der Korrelationskoeffizienten.

Hierzu muß man r nach $z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$ transformieren. z hat die Standardabweichung $s_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$. Den 95% - Vertrauensbereich für z berechnet man nach $z \pm 1,96s_z$, die so erhaltenen Grenzen für z kann man wieder nach r rücktransformieren. Liegt nun 0 innerhalb des Konfidenzbereichs von r , so ist r nicht signifikant von 0 verschieden.

3.4.3. Ergebnisse

Man spricht von einem auffälligen Unterschied, falls H_0 für $\alpha = 5\%$ abgelehnt wird, von einem signifikanten Unterschied, falls H_0 für $\alpha = 1\%$ und von einem hochsignifikanten Unterschied, falls H_0 für $\alpha = 0,1\%$ abgelehnt wird.

1. Korrelation zwischen Ausgangswerten und Reaktionsflächen

Ausgangswerte und Reaktionsflächen zeigen eine hochsignifikante negative Korrelation beim Elektromyointegral ($r = -0,67$) und bei der Atemfrequenz ($r = -0,47$).

Beim systolischen Blutdruck besteht eine hochsignifikante, aber schwache positive Korrelation zwischen Ausgangswert und Reaktionsfläche ($r = 0,19$). Bei Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten unter Ausschalten des Alterseinflusses ergibt sich ein r_{partiell} von 0,08; diese Korrelation läßt sich auf dem 5% - Niveau nicht statistisch sichern. Die Korrelation kann also durch die gemeinsame Abhängigkeit des Ausgangswertes und der Reaktionsfläche des systolischen Blutdrucks vom Alter erklärt werden.

Beim diastolischen Blutdruck und bei der Pulsfrequenz finden sich keine Anhaltspunkte für einen Zusammenhang zwischen Ausgangswert und Reaktionsfläche.

Die Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 5 zusammengestellt; dabei sind auffällige Ergebnisse mit einem *, signifikante Ergebnisse mit zwei ** und hochsignifikante Ergebnisse mit drei *** gekennzeichnet.

Tabelle 5 Korrelationskoeffizienten zwischen den Ausgangswerten und den Reaktionsflächen sämtlicher Variabler

	Gesamt	Männer	Frauen
In EMI	-0,6677 ***	-0,6878 ***	-0,6253 ***
RR systolisch	0,1873 ***	0,1160 -	0,2272 **
RR diastolisch	-0,0001 -	-0,0663 -	-0,0043 -
Pulsfrequenz	-0,0016 -	-0,0997 -	0,0921 -
Atemfrequenz	-0,4749 ***	-0,4008 ***	-0,5326 ***

Tabelle 6 Korrelationskoeffizienten zwischen den Ausgangswerten beziehungsweise Reaktionsflächen sämtlicher Variabler gegenüber dem Alter

		Gesamt	Männer	Frauen
In EMI	A	0,0489 -	-0,0025 -	0,1082 -
	R	0,0384 -	0,1007 -	-0,0387 -
RR syst	A	0,3516 ***	0,2807 ***	0,4359 ***
	R	0,3429 ***	0,3452 ***	0,3426 ***
RR diast	A	0,3500 ***	0,3008 ***	0,4179 ***
	R	0,0558 -	0,0558 -	0,0555 -
Pulsfrequenz	A	-0,0346 -	0,0637 -	-0,1432 *
	R	-0,1651 *	-0,1455 *	-0,1869 **
Atemfrequenz	A	-0,0239 -	0,0092 -	-0,0575 -
	R	-0,0576 -	-0,0975 -	-0,0210 -

2. Korrelation zum Alter

Die Korrelationskoeffizienten zwischen Ausgangswerten bzw. Reaktionsflächen gegenüber dem Alter sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Elektromyointegral und Atemfrequenz zeigen keine Altersabhängigkeit.

Die Reaktionsflächen der Pulsfrequenz sind signifikant negativ mit dem Alter korreliert, allerdings ist die Korrelation nicht sehr groß ($r = -0,17$).

Ausgangswerte und Reaktionsflächen des systolischen Blutdrucks zeigen eine hochsignifikante positive Korrelation zum Alter; beim Ausgangswert ist r bei Frauen deutlich größer als bei Männern ($r_{\text{Männer}} = 0,28$, $r_{\text{Frauen}} = 0,44$).

Um zu prüfen, ob sich der Unterschied zwischen den beiden Korrelationskoeffizienten statistisch sichern läßt, benutzt man die z - Transformation und bildet die Prüfgröße $\hat{z} = \frac{|z_1 - z_2|}{\sqrt{\frac{1}{n_1-3} + \frac{1}{n_2-3}}}$; die Prüfverteilung ist die Standardnormalverteilung.

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,2807 & r_2 &= 0,4359 & n_1 &= 185 & n_2 &= 195 \\ z_1 &= 0,288 & z_2 &= 0,467 \end{aligned}$$

$$\hat{z} = \frac{0,467 - 0,288}{\sqrt{\frac{1}{182} + \frac{1}{192}}} \quad \hat{z} = 1,74$$

Der kritische Wert für $\alpha = 0,05$ bei zweiseitigem Testen ist 1,96. Da $\hat{z} = 1,74 < 1,96$, kann die Nullhypothese ($r_{\text{Männer}} = r_{\text{Frauen}}$) auf dem 5% - Niveau nicht abgelehnt werden.

Beim diastolischen Blutdruck zeigen nur die Ausgangswerte eine hochsignifikante Altersabhängigkeit, auch hier bei Frauen größer als bei Männern ($r_{\text{Männer}} = 0,30$, $r_{\text{Frauen}} = 0,42$). Auch dieser Unterschied läßt sich auf dem 5% - Niveau nicht statistisch sichern ($\hat{z} = 1,30 < 1,96$).

3. Korrelation zwischen den einzelnen Variablen

Sämtliche Korrelationskoeffizienten können aus der Korrelationsmatrix entnommen werden (Tabelle 2 bis 4).

a) Elektromyointegral

Weder der Ausgangswert noch die Reaktionsfläche des Elektromyointegrals ist mit irgendeiner der anderen Variablen korreliert.

b) Atemfrequenz

Eine hochsignifikante, allerdings nicht sehr große Korrelation besteht allein zwischen den Ausgangswerten von Atemfrequenz und Pulsfrequenz ($r = 0,21$). Ein Zusammenhang mit dem Blutdruck läßt sich nicht nachweisen.

c) Systolischer und diastolischer Blutdruck

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Werten von systolischem und diastolischem Blutdruck sind in Tabelle 7 zusammengefaßt. Sowohl Ausgangswerte als auch Reaktionsflächen zeigen eine hohe positive Korrelation. Da die Ausgangswerte von systolischem und diastolischem Blutdruck altersabhängig sind, könnte man vermuten, daß ein großer Teil der Korrelation aus der gemeinsamen Altersabhängigkeit zu erklären ist. Die partiellen Korrelationskoeffizienten sind jedoch nur geringfügig kleiner als die ursprünglichen Werte. Bei den Reaktionsflächen wird die Korrelation bei Ausschalten des Alterseinflusses sogar höher.

Tabelle 7 Korrelationskoeffizienten zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck.
Sämtliche Werte sind hochsignifikant von 0 verschieden

	Gesamt	Männer	Frauen
Ausgangswert partiell/Alter	0,7446 0,7041	0,6345 0,6009	0,8009 0,7565
Reaktionswert partiell/Alter	0,5659 0,5830	0,5520 0,6096	0,5745 0,5922

Tabelle 8 Korrelationskoeffizienten zwischen Blutdruck und Pulsfrequenz (Ausgangswerte)

	Gesamt	Männer	Frauen
Pulsfrequenz - syst. Blutdruck partiell/Alter	0,1285 - 0,1504	0,3153 *** 0,3105	0,0395 - 0,1144
Pulsfrequenz - diast. Blutdruck partiell/Alter	0,1843 ** 0,2098	0,3760 *** 0,3749	0,0672 - 0,1413

Tabelle 9 Korrelationskoeffizienten zwischen Blutdruck und Pulsfrequenz (Reaktionsflächen)
Sämtliche Werte sind hochsignifikant von 0 verschieden

	Gesamt	Männer	Frauen
RR syst - RR diast partiell/Alter	0,5659 0,5830	0,5520 0,6096	0,5745 0,5922
RR syst - Pulsfreq. partiell/Alter	0,4769 0,5758	0,5161 0,6099	0,4506 0,5576
RR diast - Pulsfreq. partiell/Alter	0,3492 0,3640	0,3477 0,3602	0,3858 0,4039

d) Blutdruck und Pulsfrequenz

Zwischen den Ausgangswerten von Pulsfrequenz und systolischem beziehungsweise diastolischem Blutdruck besteht eine hochsignifikante positive Korrelation nur bei Männern, der Unterschied zwischen Männern und Frauen läßt sich auf dem 1% - Niveau statistisch sichern.

Beim systolischen Blutdruck gilt:

$$r_{\text{Männer}} = 0,3153 \quad z_M = 0,326 \quad n_M = 185$$

$$r_{\text{Frauen}} = 0,0395 \quad z_F = 0,039 \quad n_F = 195$$

Es ergibt sich $\hat{z} = 2,79$; der kritische Wert für $\alpha = 1\%$ beträgt 2,58.

Die Werte beim diastolischen Blutdruck lauten:

$$r_{\text{Männer}} = 0,3760 \quad z_M = 0,395$$

$$r_{\text{Frauen}} = 0,0672 \quad z_F = 0,067$$

$$\hat{z} = 3,18 > 2,58$$

Schaltet man den Alterseinfluß durch Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten aus, so steigt r_{Frauen} an, der Unterschied zwischen Männern und Frauen bleibt auf dem 5% - Niveau signifikant.

Die Werte sind in Tabelle 8 zusammengefaßt.

Zwischen den Reaktionsflächen der drei Variablen Pulsfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck besteht eine hochsignifikante positive Korrelation. In Tabelle 9 sind neben den Korrelationskoeffizienten auch die partiellen Korrelationskoeffizienten unter Ausschaltung des Alterseinflusses aufgeführt. Ein Unterschied zwischen Männern und Frauen läßt sich nicht nachweisen.

Abbildung 6 bis 8 zeigt die Plotdiagramme der Variablen systolischer und diastolischer Blutdruck und Pulsfrequenz; die übrigen Plotdiagramme finden sich im Anhang.

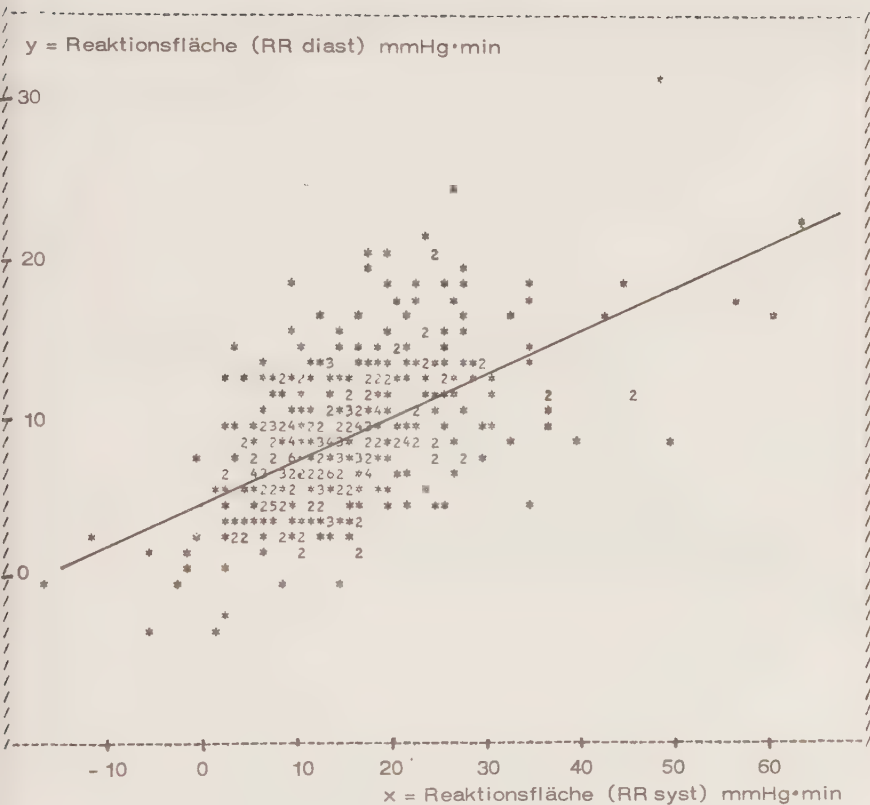


Abb. 6 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von systolischem und diastolischem Blutdruck

$n = 380$

$r = 0,5659$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 4,73 + 0,27x$

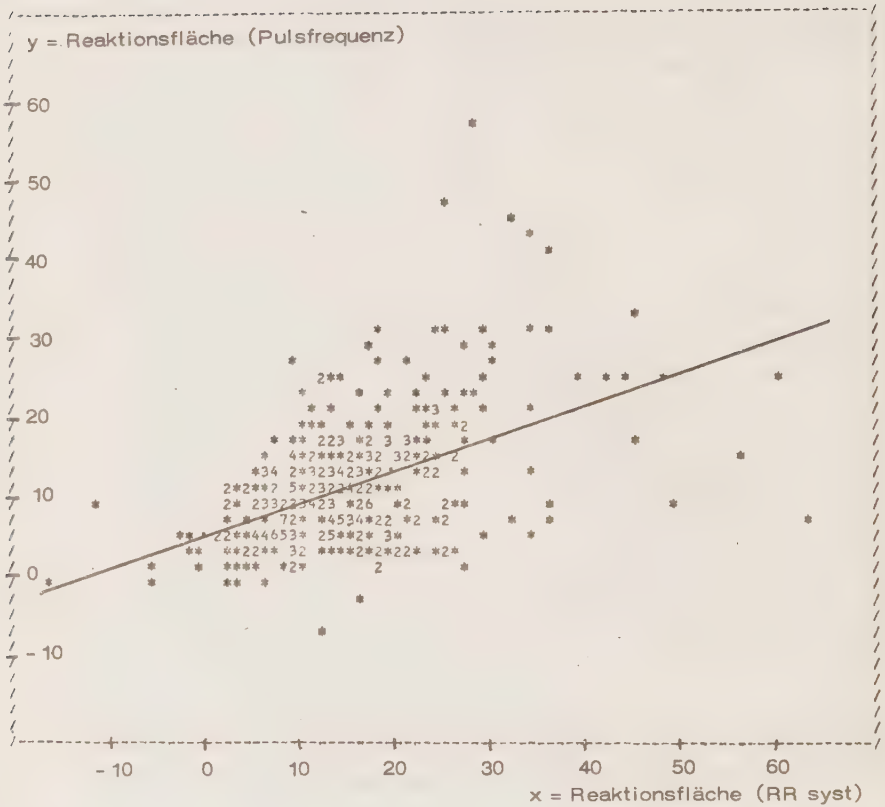


Abb. 7 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von
systolischem Blutdruck und Pulsfrequenz

$n = 380$

$r = 0,4769$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 5,24 + 0,39x$

Abschließend sei noch einmal das Verhalten der Reaktionsflächen sämtlicher fünf Variabler im Zusammenhang dargestellt.

Die Atemfrequenz steigt unter Belastung im Durchschnitt nur sehr gering an ($m = 0,19$ mit einer Standardabweichung von $3,23$). Es läßt sich auch kein Zusammenhang mit der Reaktionsfläche einer der anderen Variablen feststellen.

Das Elektromyointegral zeigt einen deutlichen Anstieg bei Belastung, der Mittelwert der Reaktionsflächen von In EMI beträgt $1,55$ ($s = 1,19$). Es besteht jedoch kein Zusammenhang mit dem Anstieg der übrigen Variablen, keiner der Korrelationskoeffizienten ist signifikant von 0 verschieden.

Pulsfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck zeigen ebenfalls einen deutlichen Anstieg unter Belastung (die Mittelwerte der Reaktionsflächen können Tabelle 1 entnommen werden). Die Reaktionsflächen dieser drei Variablen sind deutlich miteinander korreliert; bei Probanden, die einen starken Blutdruckanstieg haben, steigt im Durchschnitt auch die Pulsfrequenz stärker an als bei anderen. Hierbei ist die Korrelation zwischen den Reaktionsflächen von systolischem und diastolischem Blutdruck am größten, zwischen diastolischem Blutdruck und Pulsfrequenz am geringsten. Die partiellen Korrelationskoeffizienten bei Ausschaltung des Alterseinflusses sind etwas größer als die ursprünglichen Werte.

Bei der Korrelation zwischen den Reaktionsflächen der fünf untersuchten Variablen läßt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen feststellen.

4. Diskussion

4.1. Zur Transformation des Elektromyointegrals

Der erste Schritt unserer Untersuchung bestand darin, das Elektromyointegral in seinen natürlichen Logarithmus zu transformieren. Die ursprüngliche Verteilung des Elektromyointegrals war links steil und durch den Wert 0 begrenzt und lief nach rechts flach aus. Eine Reihe von Variablen in der Natur (zum Beispiel Zeiten) zeigen ein ähnliches Verteilungsmuster. Durch Transformation in den Logarithmus erhält man in diesen Fällen annähernd normalverteilte Werte.

Die Korrelationsanalyse, das heißt die Beurteilung des Korrelationskoeffizienten, setzt die Normalverteilung der Variablen voraus. Bei nicht normalverteilten Zufallsvariablen besteht die Möglichkeit, verteilungsfreie Abhängigkeitsmaße zu verwenden, den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman oder die Quadrantenkorrelation. Diese Verfahren nutzen allerdings nicht alle Information der Meßdaten aus, der Rangkorrelationskoeffizient setzt außerdem voraus, daß nicht zu viele Bindungen (gleiche Werte) in einer Reihe vorhanden sind. Deswegen wurde auf die Anwendung dieser Methoden verzichtet und durch Transformation von EMI nach $\ln \text{EMI}$ für sämtliche Variable eine (zumindest annähernde) Normalverteilung hergestellt.

4.2. Zum Korrelationskoeffizienten

Der lineare Korrelationskoeffizient wurde in unserer Arbeit als Maß für den Zusammenhang zwischen zwei Variablen verwendet. Bei der Interpretation der berechneten Werte ist allerdings Vorsicht geboten, da der Korrelationskoeffizient keine sachliche Deutung der Zusammenhänge gibt. Folgende Möglichkeiten sind zu prüfen und gegebenenfalls auszuschließen:

1. Es kann eine Inhomogenitätskorrelation vorliegen. Entweder können Ausreißer das Bild verzerren, oder die Stichprobe kann aus verschiedenen Teilgruppen bestehen, durch die gemeinsam berechnete Korrelation können die Verhältnisse innerhalb der Teilgruppen völlig anders wiedergegeben werden. Das Plotdiagramm gibt im allgemeinen Aufschluß darüber, ob eine Inhomogenitätskorrelation vorliegt.



Zum obigen Text. Links: Zwei Ausreißer täuschen eine positive Korrelation vor. Rechts: Der Korrelationskoeffizient innerhalb der Teilgruppen ist 0, der gemeinsam berechnete Korrelationskoeffizient ist größer als 0,5.

2. Die Variablen können gemeinsam von einer dritten Variablen, zum Beispiel der Zeit, abhängen. Dadurch wird ein Zusammenhang zwischen den Variablen vorgetäuscht, der durch die gemeinsame Abhängigkeit erklärt ist. Durch die Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten besteht die Möglichkeit, ein drittes Merkmal, von dem die zwei Variablen ebenfalls abhängig sind, konstant zu halten und damit Gemeinsamkeitskorrelationen weitgehend auszuschließen.

3. Es ist nur sinnvoll, r zu berechnen, wenn eine einigermaßen lineare Beziehung zwischen den Variablen besteht. Der Korrelationskoeffizient der Wertepaare $y = x^2$ ist 0, obwohl eine fest determinierte Abhängigkeit zwischen den Variablen vorliegt - nur eben eine quadratische und keine lineare.

4. Selbst wenn alle oben genannten Möglichkeiten ausgeschlossen sind und man eine gesicherte Korrelation zwischen zwei Variablen gefunden hat, so ist damit noch nichts über einen kausalen Zusammenhang, über Ursache und Wirkung ausgesagt. Die sachliche Deutung des gefundenen statistischen Zusammenhangs läßt sich allein aufgrund statistischer Assoziationen nicht geben.

5. Die Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten $r_{xy,z}$ braucht nicht immer sinnvoll zu sein. Sie ist zum Beispiel dann sinnlos, wenn die Korrelation zwischen x und y für verschiedene (feste) Werte von z wesentlich verschieden ist. So könnte es theoretisch der Fall sein, daß bei zwanzigjährigen Probanden ($z_1=20$ Jahre) eine deutliche negative Korrelation zwischen Ausgangswert (x) und Reaktionsfläche (y) des Elektromyointegrals bestünde, bei sechzigjährigen Probanden ($z_2=60$) dagegen eine hohe positive Korrelation. Dann hätte die Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten keinen Sinn. Die Variablen in dieser Arbeit dürften diese unangenehme Eigenschaft allerdings nicht besitzen.

4.3. Kopfrechnen als Stressor

Man kann Kopfrechnen als allgemeinen psychischen Stressor betrachten, der über *Formatio reticularis*, laterale Thalamuskern und limbisches System eine "arousal reaction" hervorruft. Dies bewirkt eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems, wodurch schließlich die vegetativen Funktionen des Organismus beeinflusst werden (10). Dabei spielen wegen der unmittelbaren zeitlichen Folge der Reaktionen auf den Reiz wohl mehr nervöse als humorale Mechanismen eine Rolle (13). Im einzelnen bewirkt eine Aktivierung des Sympathikus: Zunahme von Frequenz, Kontraktilität und Leitungsgeschwindigkeit am Herzen, Konstriktion der Hautgefäße, Dilatation der Skelettmuskelgefäße, Relaxation der Bronchialmuskulatur. Der Körper wird auf eine Angriffs- oder Fluchtreaktion vorbereitet. Im Hinblick auf unsere vegetativen Größen resultiert ein Anstieg der Pulsfrequenz, des Blutdrucks und des Elektromyointegrals (3).

Es ist allerdings zu fragen, ob Kopfrechnen eine geeignete Methode ist, um unter Versuchsbedingungen Stress zu erzeugen (12). Das Maß der Belastung kann dabei für verschiedene Individuen durchaus unterschiedlich sein; so könnte sich die große Streubreite des Blutdruckanstiegs während der Belastung erklären. Um eine besser reproduzierbare Stresssituation zu erhalten, beschreibt Turek einen Geschicklichkeits- und Konzentrationstest, verbunden mit der Androhung eines Lärmstoßes (15).

4.4. Zu den Ergebnissen

Da die Änderung der vegetativen Größen während der Belastung von der Aktivierung des Sympathikus abhängig ist, kann man alle Variablen als Maß für die Größe der Belastung der einzelnen Versuchsperson betrachten. Dementsprechend müßte ein ausgeprägter Zusammenhang zwischen dem Anstieg von Blutdruck, Pulsfrequenz, Atemfrequenz und Elektromyointegral bestehen. Dies ließ sich in meiner Arbeit nur zum Teil bestätigen.

Die Atemfrequenz läßt sich am wenigsten als Maß für psychischen Stress verwenden, sie steigt während des Kopfrechnens nur sehr gering an. Das Elektromyointegral steigt zwar bei fast allen Probanden deutlich an, es besteht aber kein Zusammenhang zu den anderen Variablen. Blutdruck und Pulsfrequenz, die auch in der Literatur am häufigsten als Indikatoren für die Stärke einer Stresssituation angegeben werden, zeigen die stärkste Korrelation untereinander - bei diesen Variablen ist wohl auch die direkte Abhängigkeit von der Sympathikus-Aktivierung am größten.

In diesem Zusammenhang wäre es interessant gewesen, als direktes Maß für die Stärke der Stresssituation und der "arousal reaction" die Ausscheidung von Adrenalin und Noradrenalin während des Kopfrechnens zu bestimmen (2, 6, 11).

4.5. Problem der multiplen Tests

In meiner Untersuchung wurden von 11 Variablen jeweils paarweise Korrelationskoeffizienten berechnet (insgesamt 55), anschließend wurde untersucht, ob sich der Unterschied der Korrelationskoeffizienten von 0 statistisch sichern läßt. Hierbei ist zu bemerken, daß jeder dieser Tests sozusagen losgelöst von den anderen Tests zu verstehen ist. Bei jedem Test wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit α von 0,05 oder 0,01 gegeben; in einem von 20 beziehungsweise einem von 100 Fällen wird man - bei Gültigkeit der globalen Nullhypothese, daß nirgends eine Korrelation vorliegt - eine Korrelation feststellen und damit einen Fehler 1. Art begehen. Betrachtet man die 55 Testentscheidungen gemeinsam, so ist die Wahrscheinlichkeit α_1 , in allen Tests zusammen mindestens eine nicht vorhandene Korrelation zu finden, bedeutend größer. Um sicherzugehen, daß man eine Wahrscheinlichkeit $\alpha_1 < 0,05$ erhält, müßte man bei jedem einzelnen Test strenggenommen eine Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = \frac{0,05}{55} \approx 0,001$ wählen (Bonferroni - Methode).

Der kritische Wert für den Korrelationskoeffizienten für $\alpha = 0,001$ liegt für $n = 380$ bei 0,168, für $n = 185$ bei 0,239 und für $n = 195$ bei 0,233. Nur Werte für r , die diese Grenzen überschreiten, sind damit auf dem 5% - Niveau signifikant von 0 verschieden, wenn man alle Tests dieser Arbeit in ihrer Gesamtheit betrachtet.

5. Zusammenfassung

Es wurde eine multivariate Untersuchung von Meßgrößen durchgeführt, die im Rahmen einer Fluglärmstudie der deutschen Forschungsgemeinschaft an etwa 400 Probanden vor und während einer psychischen Stresssituation (Kopfrechnen) gewonnen worden waren. Die Meßgrößen waren Elektromyointegral, systolischer und diastolischer Blutdruck, Pulsfrequenz und Atemfrequenz. Dabei sollten vor allem Zusammenhänge zwischen dem Verhalten der fünf Variablen während der Belastung aufgedeckt werden.

Nach Datenreduktion (Bildung von Ausgangswert und Reaktionsfläche) und Transformation des Elektromyointegrals nach In EMI wurden mit Hilfe von Programmen aus der Programmbibliothek des Instituts für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Erlangen paarweise Plotdiagramme erstellt und Korrelationskoeffizienten berechnet. Es wurden statistische Tests zur Beurteilung der Korrelationskoeffizienten durchgeführt, außerdem wurden Vertrauensbereiche und partielle Korrelationskoeffizienten berechnet. Dabei wurde mit dem Rechner TR 440 des Rechenzentrums der Universität Erlangen gearbeitet.

Es zeigte sich, daß eine gleichsinnige Reaktion der Variablen, also eine ausgeprägte Korrelation zwischen den Reaktionsflächen, wie sie aufgrund der Steuerung der vegetativen Organe durch den Sympathikus zu erwarten gewesen wäre, nur teilweise bestätigt werden konnte.

Die Atemfrequenz zeigte nur einen sehr geringen Anstieg während der Belastung und keinen Zusammenhang mit den anderen Variablen. Das Elektromyointegral stieg zwar deutlich an, aber eine Korrelation mit dem Anstieg von Blutdruck oder Pulsfrequenz konnte nicht nachgewiesen werden.

Zwischen den Reaktionsflächen von systolischem und diastolischem Blutdruck und Pulsfrequenz bestand ein deutlicher Zusammenhang, mit Werten des Korrelationskoeffizienten um 0,5. Ein Unterschied zwischen Männern und Frauen ließ sich hierbei nicht feststellen.

Der Zusammenhang zwischen Ausgangswert und Reaktionsfläche war bei den fünf Variablen unterschiedlich. Beim Elektromyointegral und bei der Atemfrequenz war die Reaktion bei höherem Ausgangswert geringer, beim systolischen Blutdruck war sie bei höherem Ausgangswert höher. Zwischen Ausgangswert und Reaktionsfläche von diastolischem Blutdruck und Pulsfrequenz läßt sich kein Zusammenhang feststellen.

Der Blutdruck zeigt eine deutliche Altersabhängigkeit (ältere Probanden hatten im Durchschnitt einen höheren Blutdruck), die übrigen Variablen sind nicht mit dem Alter korreliert.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Armitage, P Statistical Methods in Medical Research
Blackwell Scientific Publications
Oxford 1971
- 2 Arvidsson, O Subjective Annoyance from Noise Compared
Lindvall, T with some directly Measurable Effects
Archives of Environmental Health
1978 S. 159 - 166
- 3 Bove, AA The Cardiovascular Response to Stress
Psychosomatics 18 (4)
1977 S. 13 - 17
- 4 Documenta Geigy Wissenschaftliche Tabellen 7. Auflage
J.R.Geigy A.G., Pharma
Basel 1969
- 5 v.Eiff, AW Elektromyointegrator, ein Gerät zur quantita-
Meyer - Eppler, W tiven Auswertung von Muskelaktionsströmen
Klinische Wochenschrift 34 (17/18)
1956 S. 484 - 486
- 6 Frankenhäuser, M Interindividual Differences in Catechol-
Patkai, P amine Excretion during Stress
Scandinavian Journal of Psychology 6
1965 S. 117 - 123
- 7 Heide, F Zur statistischen Methodik der Verlaufs-
analyse von Blutdruckwerten unter
Stressbedingungen
Dissertation Erlangen 1977
- 8 Hommel, G Plotprogramm
Programmbibliothek des Instituts für Medizi-
nische Statistik und Dokumentation 1977
- 9 Horbach, L Statistische Auswertung des medizinischen
Untersuchungsteils
In: DFG - Forschungsbericht Fluglärnwirkungen
Kapitel 7
Harald Boldt Verlag Boppard 1974

- 10 Kaplan, NM Stress, the Sympathetic Nervous System and Hypertension
Journal of Human Stress
1978 S.29 - 34
- 11 Klotzbücher, E Über den Einfluß von geistiger Arbeit mit und ohne Zeitdruck auf ausgewählte physiologische Funktionen
Zeitschrift für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete 23 (1)
1977 S.8 - 11
- 12 Kotz, YM et al On the Mechanism of an Increase of Muscle Performance and of Vasodilatation during Emotional Stress in Man
Pflügers Archiv 373
1978 S.211 - 218
- 13 Ludbrook, J et al Effects of Mental Arithmetic on Arterial Pressure and Hand Blood Flow
Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology Suppl.2
1975 S.67 - 70
- 14 Sachs, L Angewandte Statistik
Statistische Methoden und ihre Anwendungen
Springer - Verlag Berlin 1978
- 15 Turek, JV et al Blood Pressure Response to a New Standardized Stress Test
Netherlands Journal of Medicine 20 (3)
1977 S. 104 - 106
- 16 Victor, N et al Statsys, Beschreibung und Benutzeranleitung
Bericht MD 24 der GSF
München 1973
- 17 Wengel, C Statistische Analyse der Reaktion der elektrischen Muskelaktivität auf Belastung durch Kopfrechnen
Dissertation Erlangen (in Vorbereitung)

7. Anhang

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

Abb. 9 Mittelwerte und Konfidenzbereiche von EMI und In EMI

Abb.10 Mittelwerte und Konfidenzbereiche von systolischem und diastolischem Blutdruck

Abb.11 Mittelwerte und Konfidenzbereiche von Pulsfrequenz und Atemfrequenz

Abb.12 Verteilung des Elektromyointegrals

Abb.13 Verteilung des systolischen Blutdrucks

Abb.14 Verteilung des diastolischen Blutdrucks

Abb.15 Verteilung der Pulsfrequenz

Abb.16 Verteilung der Atemfrequenz

Abb.17 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von systolischem und diastolischem Blutdruck (getrennt für Männer und Frauen)

Abb.18 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von systolischem Blutdruck und Pulsfrequenz (getrennt für Männer und Frauen)

Abb.19 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von Pulsfrequenz und diastolischem Blutdruck (getrennt für Männer und Frauen)

Abb.20 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von In EMI und RR syst

Abb.21 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von In EMI und RR diast

Abb.22 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von In EMI und Pulsfrequenz

Abb.23 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von In EMI und Atemfrequenz

Abb.24 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von RR syst und Atemfrequenz

Abb.25 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von RR diast und Atemfrequenz

Abb.26 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von Pulsfrequenz und Atemfrequenz

Abb. 9 Mittelwerte und Konfidenzbereiche ($p = 0,99$) der Meßwerte von Elektromyointegral (links) und In EMI (rechts) an den einzelnen Zeitpunkten

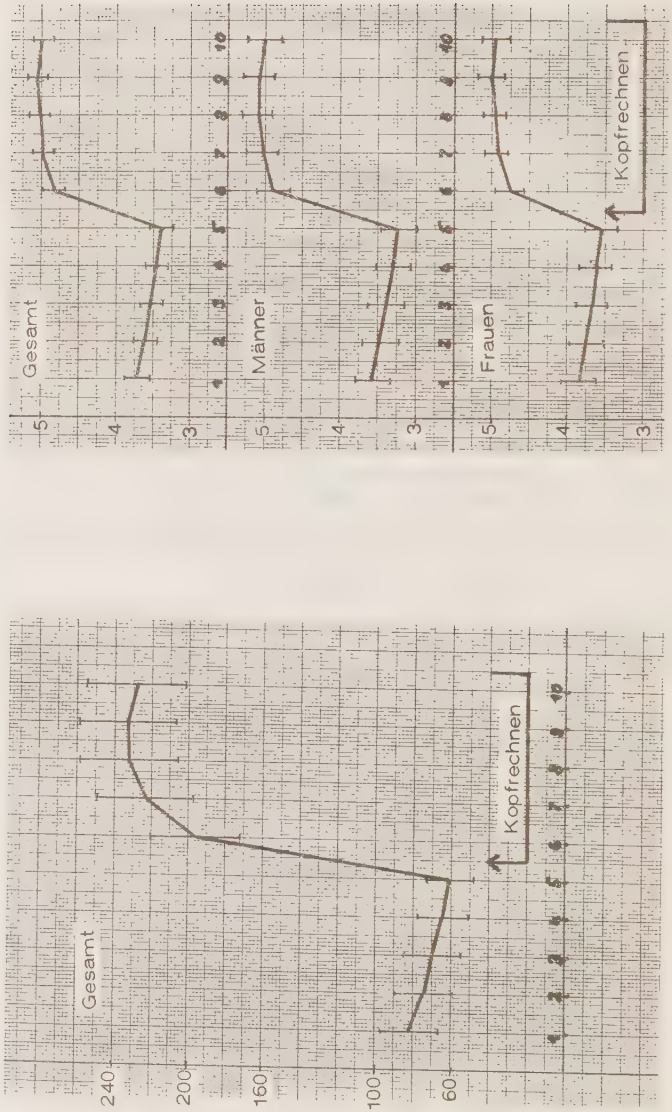


Abb. 10 Mittelwerte und Konfidenzbereiche ($p = 0,99$) der Meßwerte von systolischem Blutdruck (links) und diastolischem Blutdruck (rechts) an den einzelnen Zeitpunkten

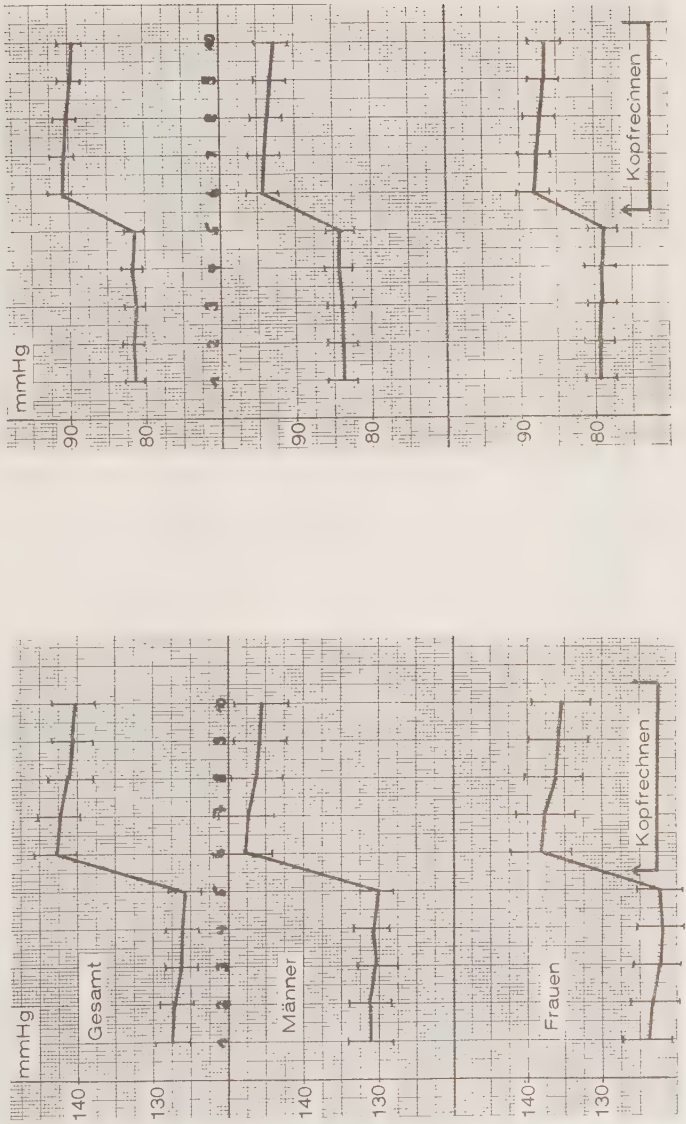


Abb. 11 Mittelwerte und Konfidenzbereiche ($p = 0,99$) der Meßwerte von Pulsfrequenz (links) und Atemfrequenz (rechts) an den einzelnen Zeitpunkten

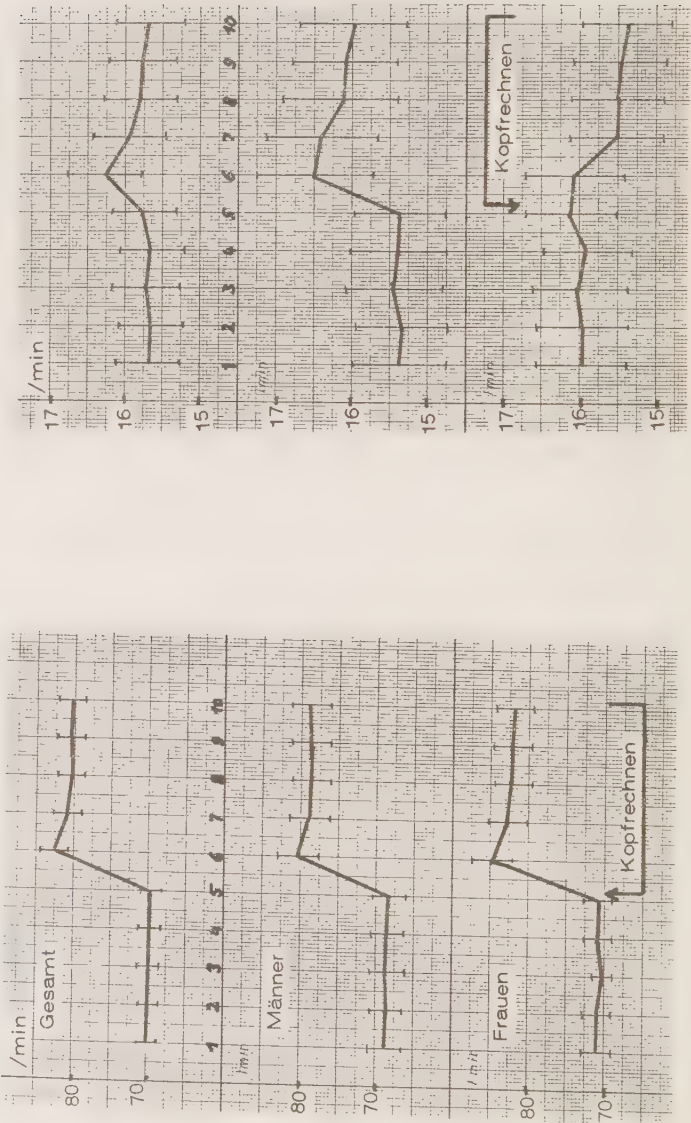


Abb. 12 Verteilung des Elektromyointegrals (transformierte Werte). Oben Ausgangswerte, unten Reaktionsflächen

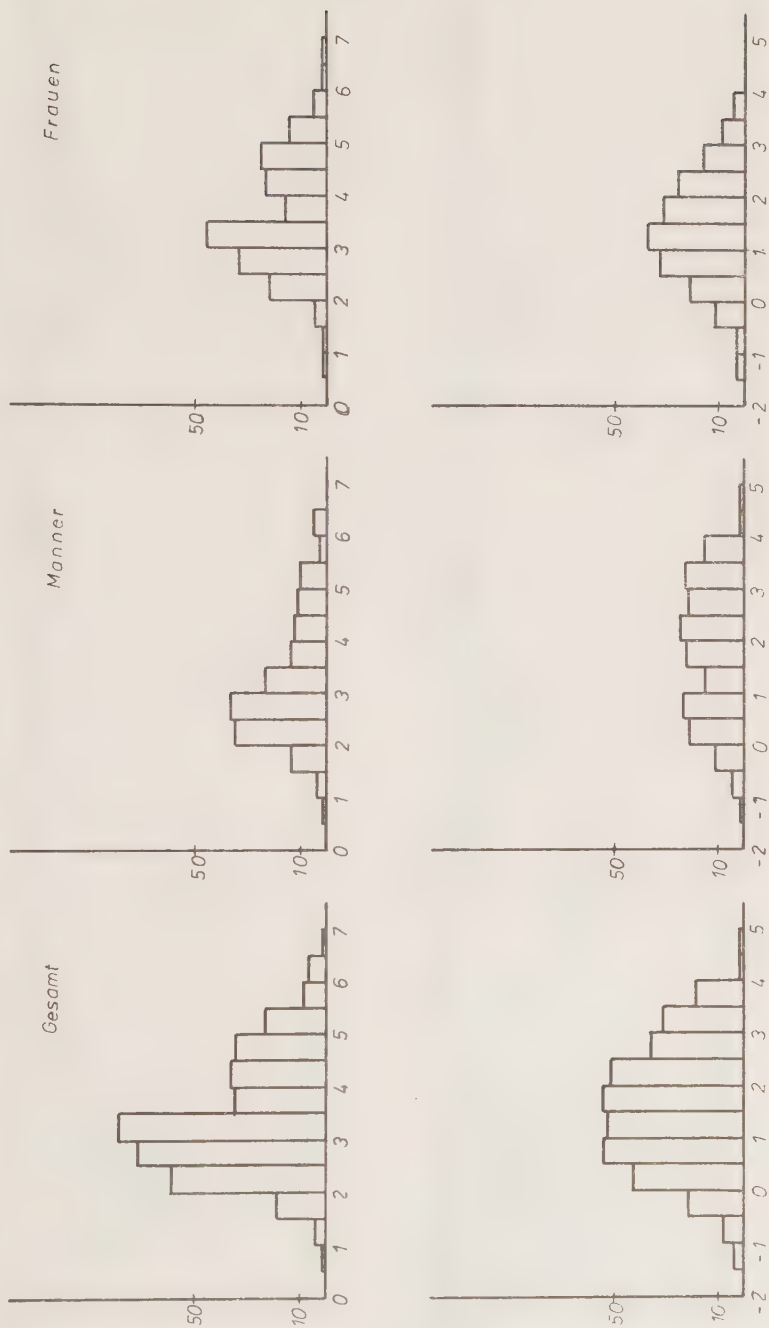


Abb. 13 Verteilung des systolischen Blutdrucks. Oben Ausgangswerte, unten Reaktionsflächen

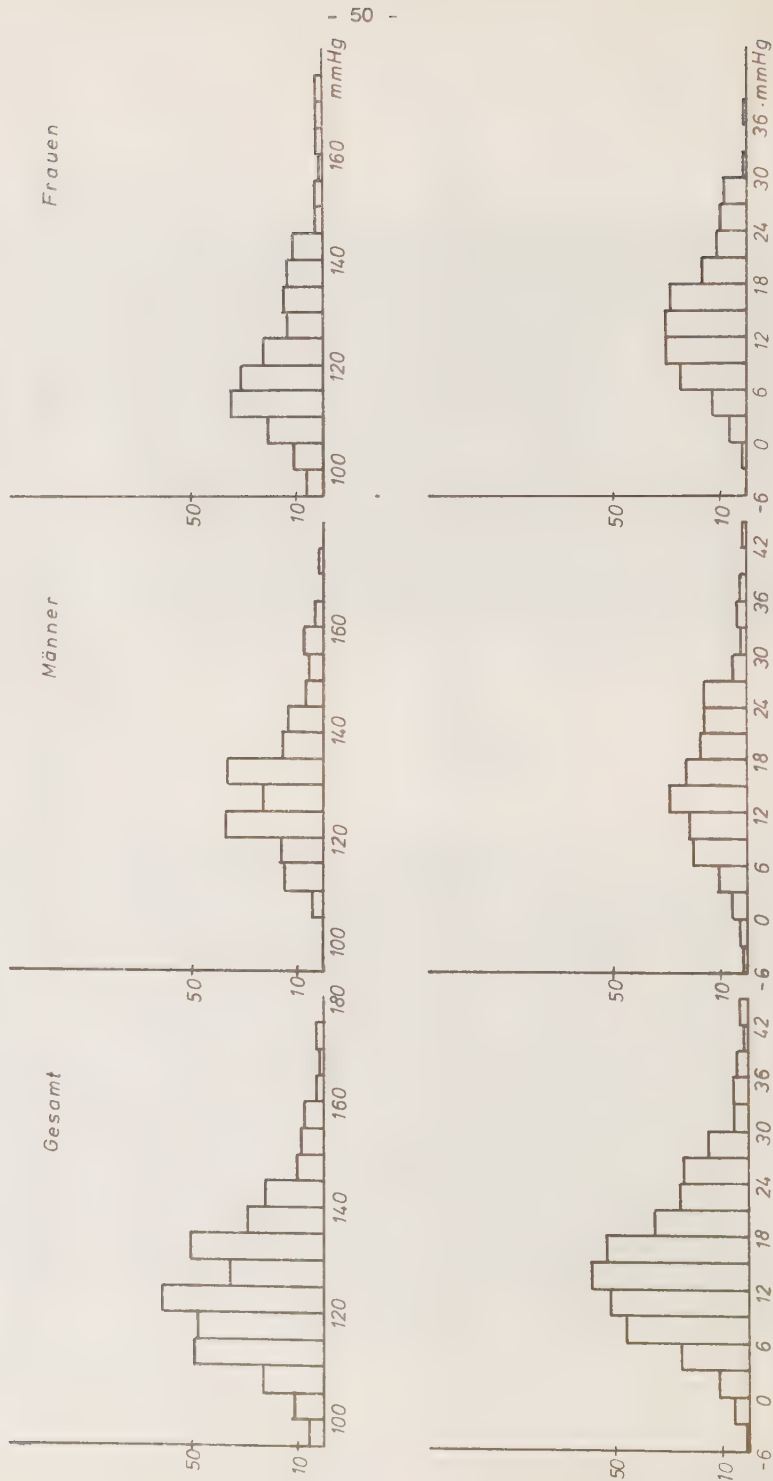


Abb. 14 Verteilung des diastolischen Blutdrucks. Oben Ausgangswerte, unten Reaktionsflächen

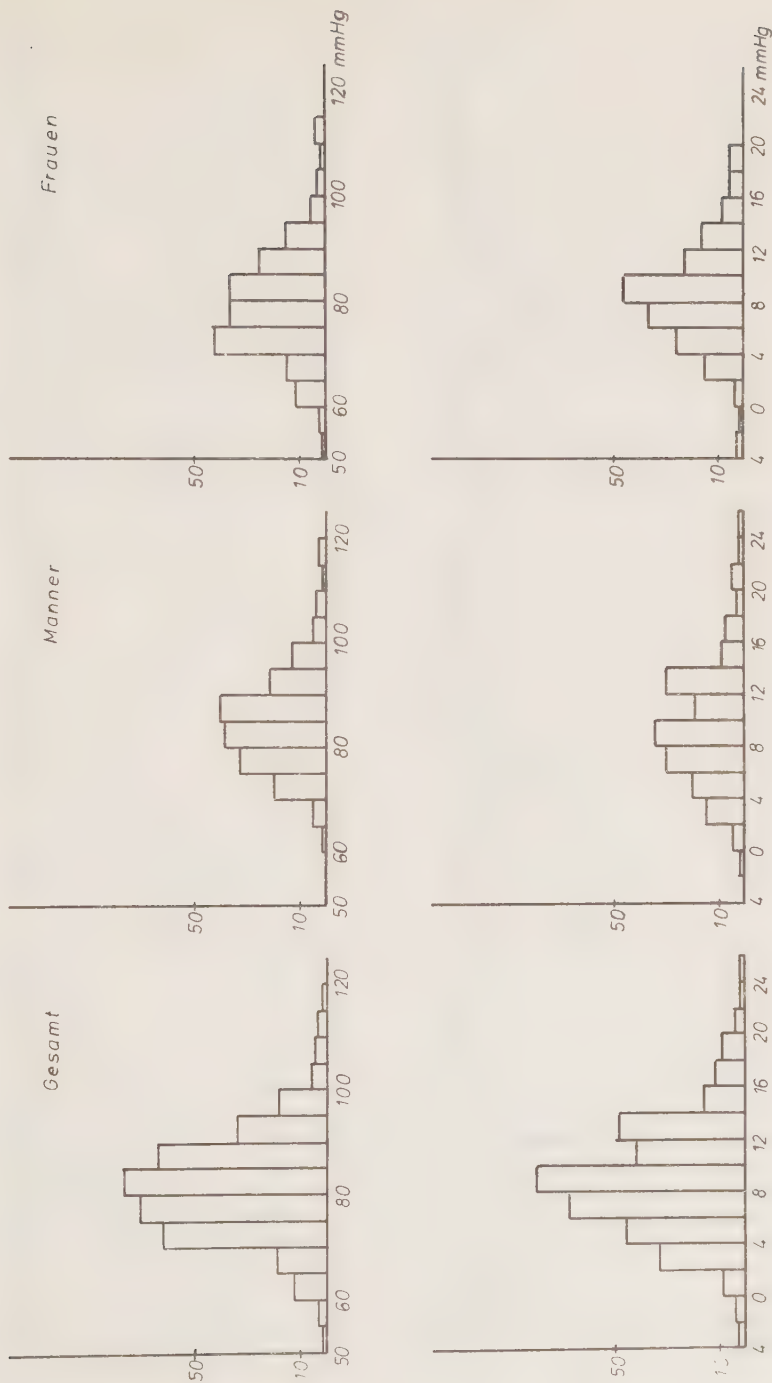


Abb. 15 Verteilung der Pulsfrequenz. Oben Ausgangswerte, unten Reaktionsflächen

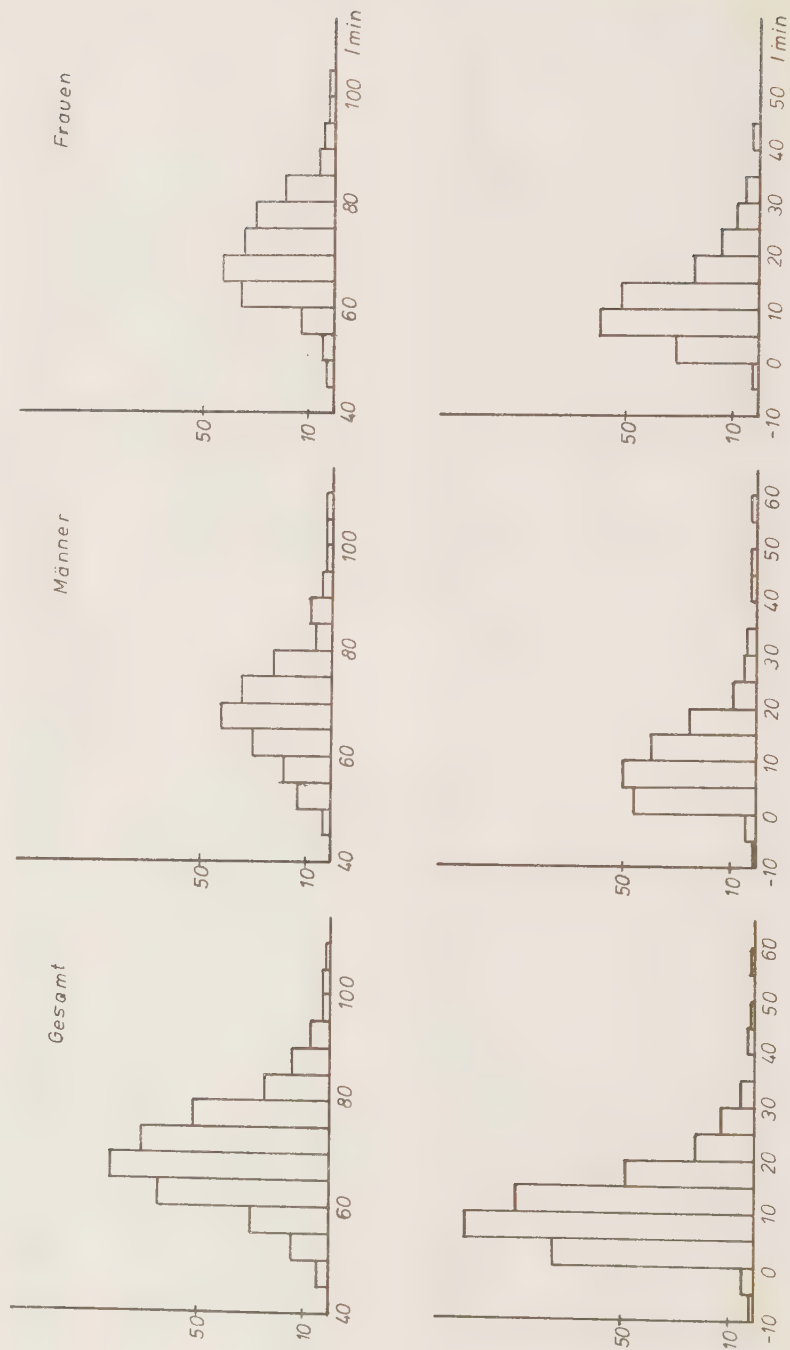
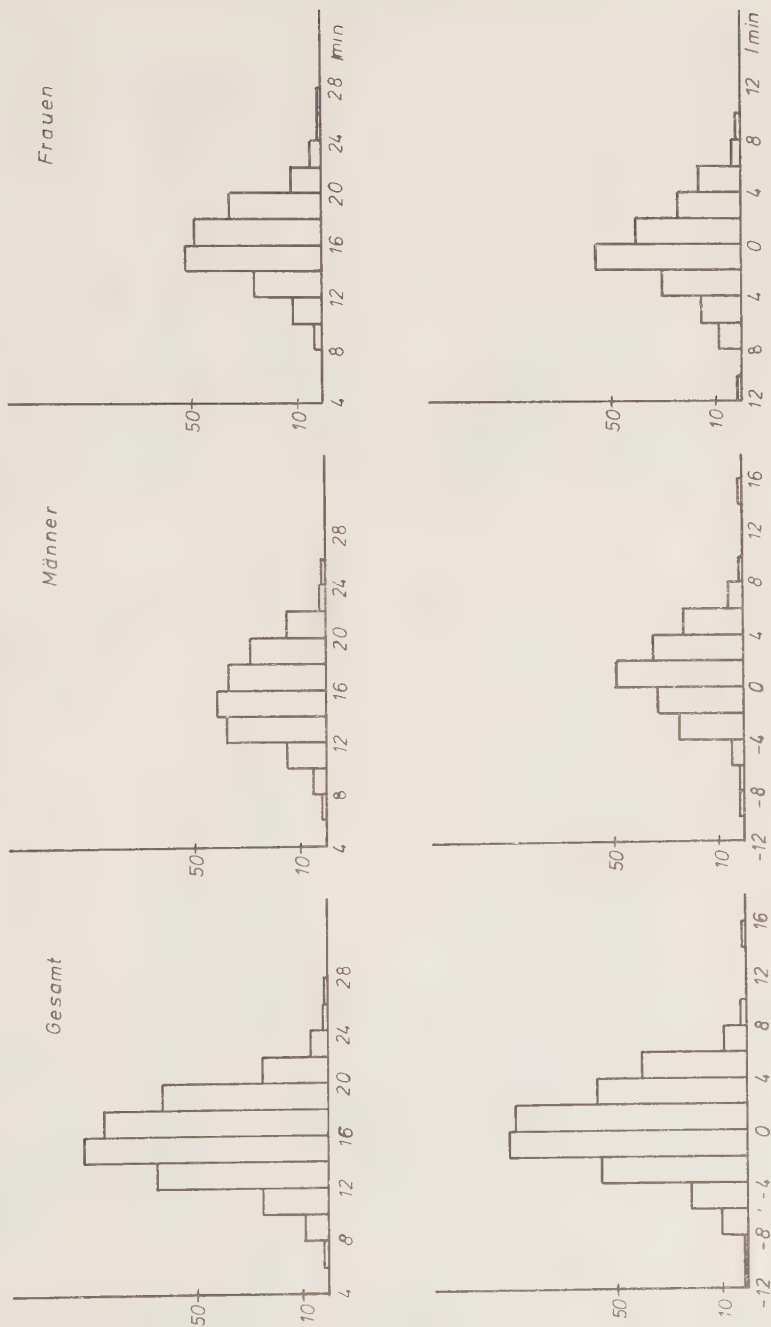


Abb. 16 Verteilung der Atemfrequenz. Oben Ausgangswerte, unten Reaktionsflächen



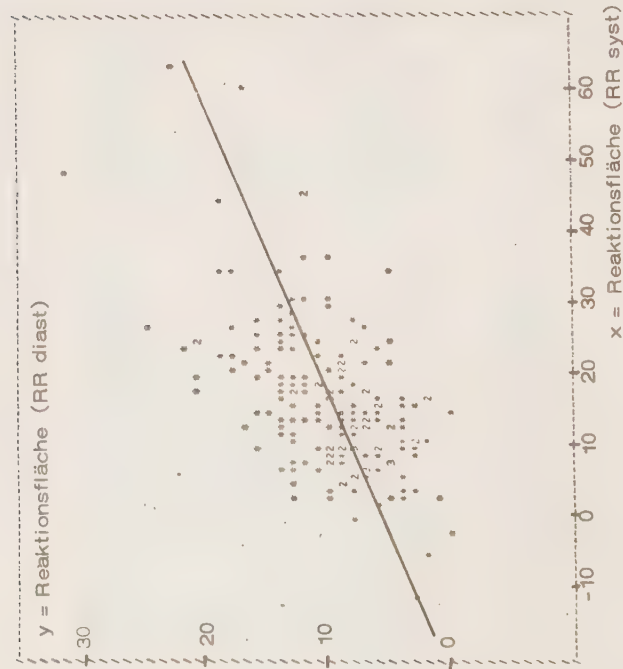


Abb. 17 a Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von systolischem und diastolischem Blutdruck

nur Männer, n = 185

$r = 0,5520$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 5,24 + 0,26x$

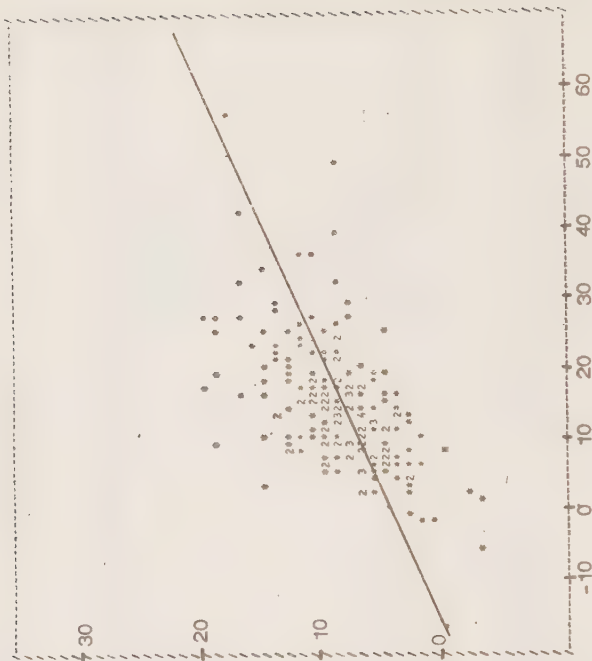


Abb. 17 b Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von systolischem und diastolischem Blutdruck

nur Frauen, n = 195

$r = 0,5745$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 4,36 + 0,26x$

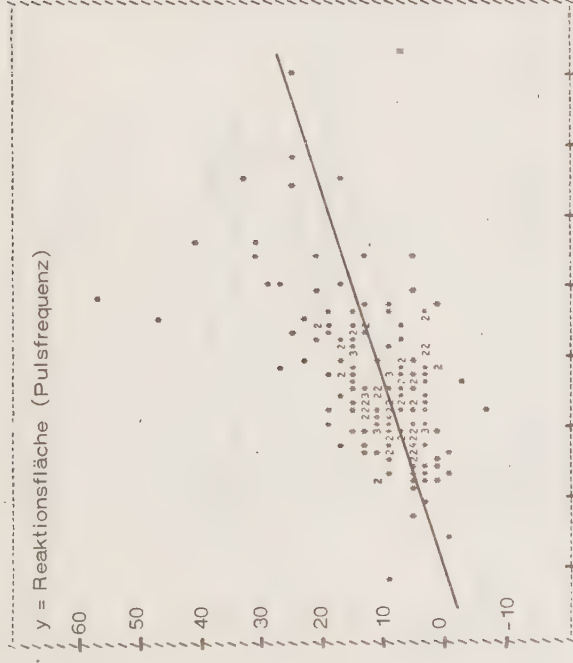


Abb.18a Zusammenhang zwischen den Reaktions-
flächen von systolischem Blutdruck
und Pulsfrequenz

nur Männer, n = 185
 $r = 0,5161$ (signifikant $> 0, \alpha = 0,001$)
 Regressionsgerade: $y = 3,92 + 0,41x$

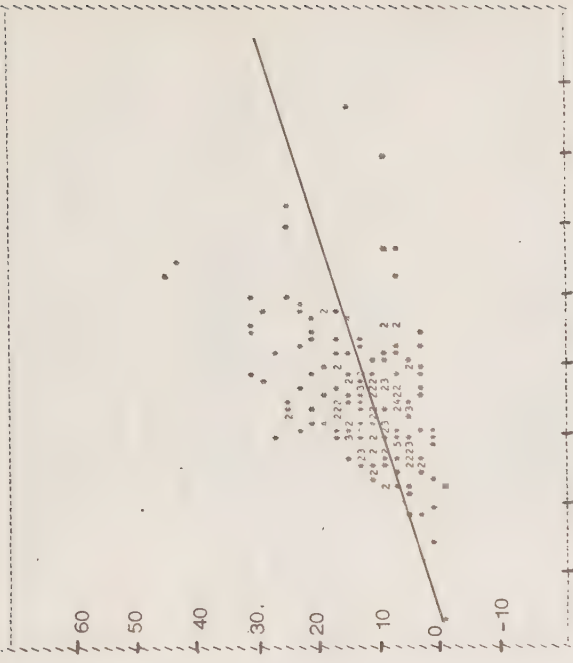


Abb.18 b Zusammenhang zwischen den Reaktions-
flächen von systolischem Blutdruck
und Pulsfrequenz

nur Frauen, n = 195
 $r = 0,4506$ (signifikant $> 0, \alpha = 0,001$)
 Regressionsgerade: $y = 6,29 + 0,38x$

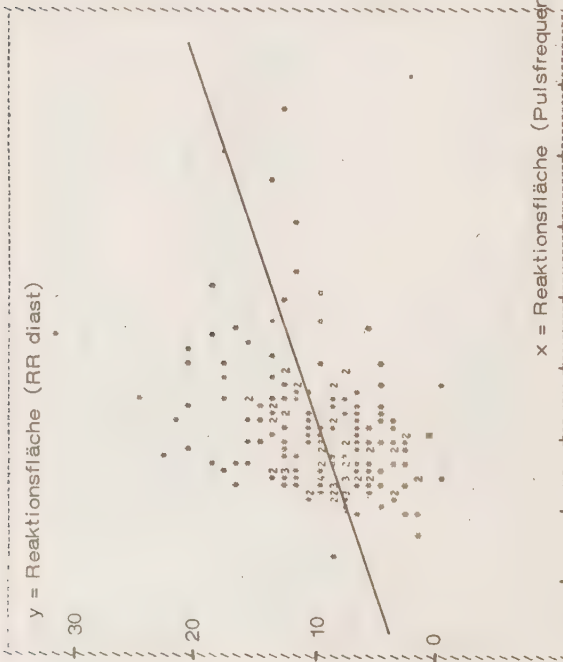


Abb.19 a Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von Pulsfrequenz und diastolischem Blutdruck

nur Männer, n = 185

$r = 0,3477$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 7,34 + 0,21x$



Abb.19 b Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen von Pulsfrequenz und diastolischem Blutdruck

nur Frauen, n = 195

$r = 0,3658$ (signifikant > 0 , $\alpha = 0,001$)

Regressionsgerade: $y = 5,73 + 0,21x$

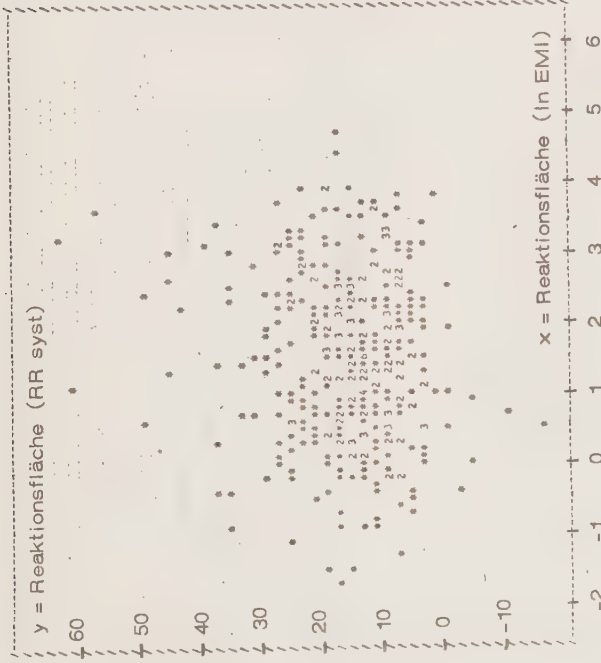


Abb.20 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen des transformierten Elektromyointegrals (In EMI) und des systolischen Blutdrucks

n = 380

r = 0,0950 (nicht signifikant ≠ 0)

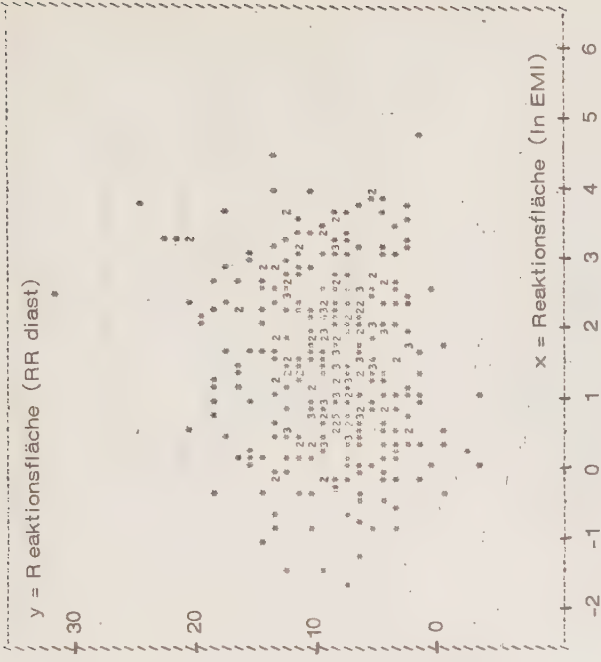


Abb.21 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen des transformierten Elektromyointegrals (In EMI) und des diastolischen Blutdrucks

n = 380

r = 0,1190 (nicht signifikant ≠ 0)

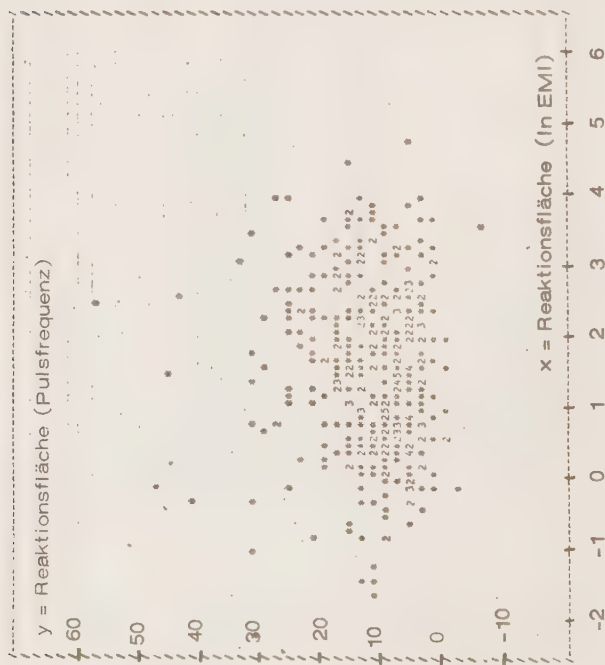


Abb.22 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen des transformierten Elektromyograms und der Pulsfrequenz
 $n = 380$
 $r = 0,0708$ (nicht signifikant $\neq 0$)

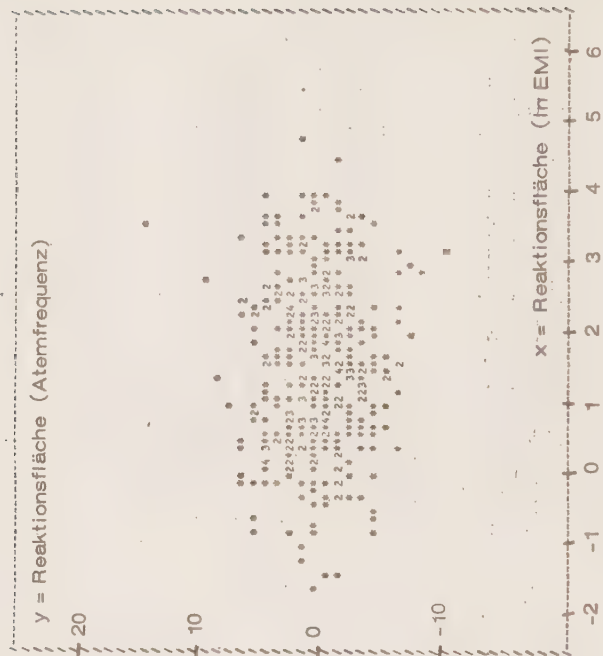


Abb.23 Zusammenhang zwischen den Reaktionsflächen des transformierten Elektromyograms und der Atemfrequenz
 $n = 380$
 $r = -0,0312$ (nicht signifikant $\neq 0$)

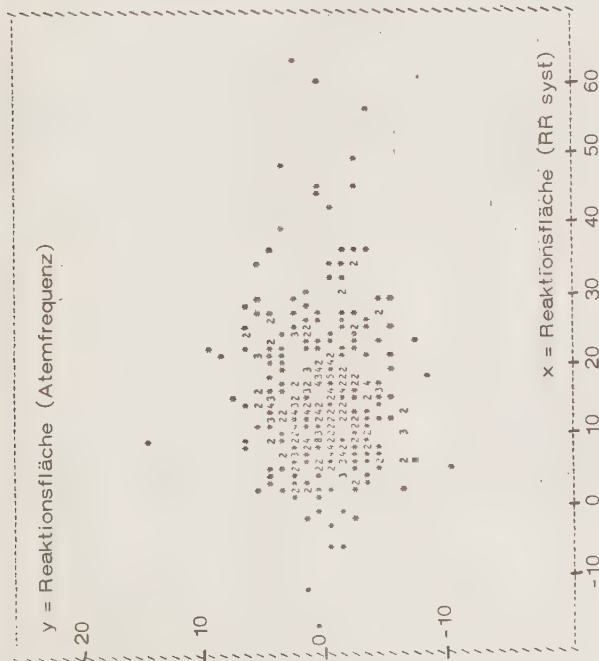


Abb.24 Zusammenhang zwischen den Reaktions-
flächen von systolischem Blutdruck
und Atemfrequenz

n = 380

r = 0,0484 (nicht signifikant ≠ 0)

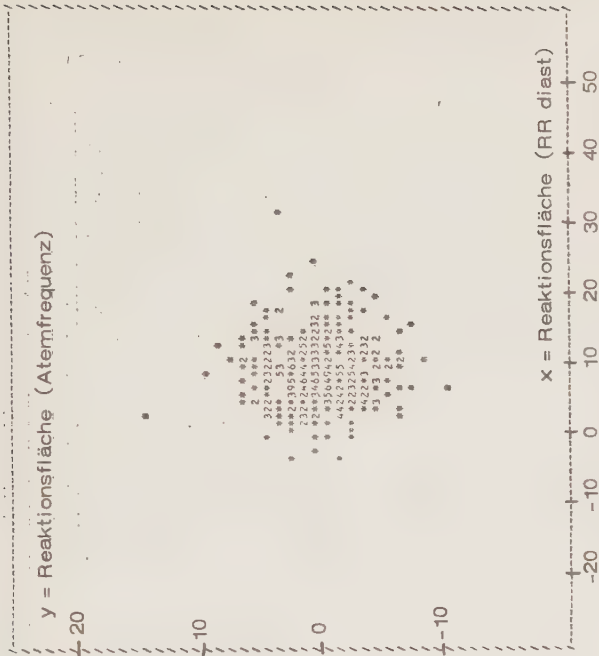


Abb. 25 Zusammenhang zwischen den Reaktions-
flächen von diastolischem Blutdruck
und Atemfrequenz

n = 380

r = -0,0042 (nicht signifikant ≠ 0)

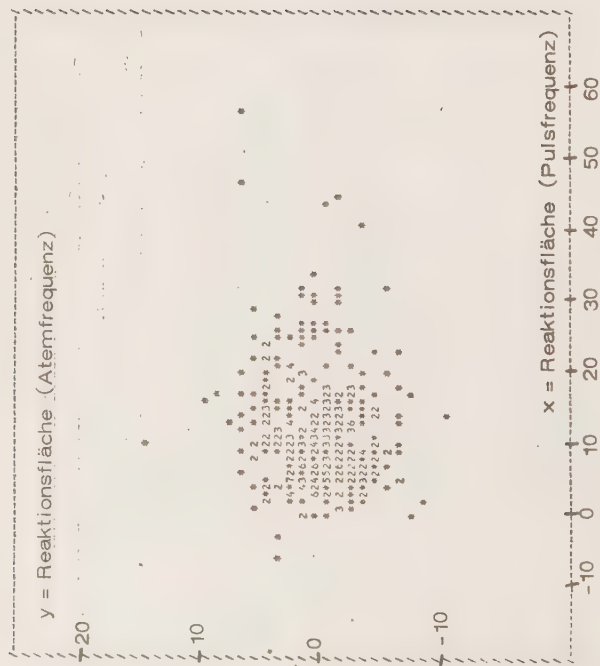


Abb. 26 Zusammenhang zwischen den Reaktions-
flächen von Pulsfrequenz und Atemfrequenz

n = 380

r = 0,0923 (nicht signifikant $\neq 0$)

Herrn Prof. Dr. med. L. Horbach danke ich für die Überlassung des Themas, für die Übernahme des Referates und für die freundliche und hilfreiche Beratung während der Durchführung der Arbeit.

Besonders herzlich möchte ich mich bei Herrn Dr. rer. nat. habil. G. Hommel für seine geduldige und fachkundige Hilfe bedanken, durch die er wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Schließlich bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts für medizinische Statistik für die Unterstützung bei den statistischen Auswertungen.

Lebenslauf

Am 31. März 1953 wurde ich in Nürnberg geboren.
Mein Vater, Dr. Peter Fischer, ist Zahnarzt, meine Mutter, Frau Annemarie Fischer, geborene Siegert, ist Hausfrau. Ich habe einen jüngeren Bruder.

Ab 1959 besuchte ich die Volksschule der Wilhelm-Löhe-Schule in Nürnberg und ab 1963 den neusprachlichen Zweig des Gymnasiums der gleichen Schule.
1972 legte ich dort die Reifeprüfung ab.

Nach dem Abitur studierte ich drei Semester lang Zahnmedizin in Tübingen, seit dem Sommersemester 1974 habe ich in Erlangen Medizin studiert. Hier bestand ich 1975 die medizinische Vorprüfung und 1979 den dritten Teil des Staatsexamens.

Zur Zeit arbeite ich als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Abteilung für Herzchirurgie der Universität Erlangen.

Ich bin seit 1978 verheiratet und habe einen Sohn.

Nürnberg, im April 1980

Susanne Hiemeyer

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197